



TITLE:

ミニトマトにおける裂果発生の機構解明とその制御に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

太田, 勝巳

CITATION:

太田, 勝巳. ミニトマトにおける裂果発生の機構解明とその制御に関する研究. 京都大学, 1996, 博士(農学)

ISSUE DATE:

1996-07-23

URL:

<https://doi.org/10.11501/3117215>

RIGHT:

ミニトマトにおける裂果発生の機構解明と
その制御に関する研究

1996

太 田 勝 巳

ミニトマトにおける裂果発生の機構解明と
その制御に関する研究

1996

太田勝巳

目 次

緒 言	1
第1章 裂果発生に関わる果実の諸特性ならびに品種間差異	4
第1節 裂果発生の品種間差異ならびに果実特性	4
第2節 異なる水耕培養液濃度における裂果発生と果実特性	9
第3節 総合考察	14
第4節 摘要	16
第2章 組織学的観点からみた裂果発生の様相	18
第1節 裂果発生の起点部位および裂果発生の進行の様相	18
第2節 果実における果肉細胞の大きさの差異	28
第1項 土耕および水耕果実における 未裂果および裂果の細胞の形態比較	28
第2項 未熟果および完熟果における 吸水の有無による細胞の形態比較	32
第3節 裂開部位の様相	35
第1項 パラフィン切片法による観察	35
第2項 走査型電子顕微鏡による観察	37
第4節 裂果の進行過程	39
第5節 総合考察	43
第6節 摘要	45
第3章 裂果発生の要因解明	47
第1節 裂果発生の時間	47
第2節 完熟果実横径の日変化	50
第1項 夏季における日変化	50
第2項 秋季における日変化	53
第3節 植物体内における水分移動とその制御	56
第1項 水分移動の日変化	56
第2項 暗期光照射による水分移動の制御	60
第4節 果実および葉からの蒸散と裂果発生	64
第1項 果実および葉における蒸散速度の日変化	64

第2項 果実およびがく片における水分蒸散の差異	65
第5節 総合考察	66
第6章 摘要	69
第4章 裂果発生制御のための栽培方法の検討	71
第1節 湿度が裂果発生に及ぼす影響	72
第1項 相対湿度と裂果発生の関係	73
第2項 送風処理による裂果発生制御	77
第2節 水耕培養液濃度および培地浸透ポテンシャル による裂果発生制御	79
第1項 水耕培養液濃度による裂果発生制御	80
第2項 低浸透ポテンシャル溶液による裂果発生制御	87
第3節 果房の引き上げによる裂果発生制御	89
第4節 エスレルおよびアブシジン酸散布が裂果発生に及ぼす影響	91
第5節 総合考察	96
第6節 摘要	100
第5章 総括	103
引用文献	108

緒 言

ミニトマト (*Lycopersicon esculentum* MILL.) は近年、食の多様化・個性化から生産が全国的に増加した果菜類の一つである (望月、1986 ; 望月、1987 ; 渡辺ら、1987 ; 伊藤、1990b) 。ここ数年果菜類に対する消費者の嗜好が多様化し、従来の大型の生食用トマト (以後大型トマトと称す) においては果実品質 (とくに食味) に対する評価も厳しくなりつつある。ミニトマトに関しても大型トマトと同等以上に品質が重要な市場評価の対象になっている (永井、1988 ; Hobson and Bedford、1989) 。

市場性の高いミニトマト果実は果色が鮮やかで、甘く、柔らかくて果皮が口に残らないのが望ましいとされている。ミニトマトは一般に花房当たり20~100花以上と花数が多く長期間にわたり開花結実するために (太田ら、1987) 、品質の良い果実を継続して生産することが難しく、また果実品質は作型および栽培環境によっても変動しやすい。したがって、ミニトマト栽培においては周年にわたり安定して高品質の果実を生産するための栽培方法の確立が必要と考えられる。これまでにミニトマトの果実に関して食味の向上を目的として、水耕培養液へのNaCl添加 (角田・林、1988 ; 太田ら、1991) 、NaCl溶液の灌水 (Alarcón et al.、1994) 、水耕培養液へのカリウム塩添加 (Ohta et al.、1990) および水耕培養液濃度の検討 (Gough and Hobson、1990 ; 太田ら、1991) などが試みられ、一応の成果が得られている。

ミニトマト生産上の重要な課題の一つに裂果の問題がある。収穫期に曇天あるいは雨天が続いた場合 (梅雨期など) 、施設内の空気湿度が屋外よりもかなり高くなり、裂果の発生が多くなることが知られている (伊藤ら、1990a) 。従来から、大型トマトの裂果に関する研究は数多く行われており、古くはFrazierの詳細な一連の報告 (Frazier、1934、1935 ; Frazier and Bouwers、1938、1947) がある。また、近年Peet (1992) によっても裂果の発生要因に関してまとめられた報告がみられる。これまでの報告から、裂果の発生機構はその要因が複雑であり、栽培環境要因として気温、風、空気湿度および日射量 (Drews、1978) などが、また植物体および果実の要因として根の活性、T/R率 (Frazier and Bouwers、1947) 、葉の果実被覆程度 (二井内、1963) 、果実の糖度および硬さ (Batal et al.、1970 ; Koske et al.、1980 ; 二井内ら、1960 ; 二井内・本多、1961 ; 上村ら、1972) などが関与するとされている。とりわけ、果実要因に関

して、裂果の発生は高糖度で、果皮が硬い果実に少なく、逆に低糖度で、軟らかい果実ほど多いとされている。その他オウトウにおいては、裂果発生と果皮の気孔分布（沢田、1931）、果実の肥大特性（山本ら、1990a）および果実の応力分布（山本ら、1990b）との関連も検討されてきた。また、土耕においては土壤水分すなわち灌水頻度あるいは降雨が裂果の発生に大きな影響を及ぼすとされている（二井内ら、1960；上村ら、1972；Abott et al.、1986）。この場合、土壤水分の急激な増加で植物体の吸水量が増すこと、あるいは降雨により果皮のコルク点から直接水が果実に進入することが要因となり、その結果果実の細胞の圧ポテンシャル（膨圧）が高まり、裂果が発生するとされている。

ミニトマトの裂果発生に関しては、青木（1986）および舟越（1989）などによる土耕での品種比較試験があるが、水耕ではこれまで報告があまりみられない。とくに、根が常時水（培養液）に浸漬されている湛液水耕においては植物体による吸水量も多くなるため、裂果が発生しやすい条件にあると考えられる（Peet and Willits、1995）。養液栽培は連作障害がないことおよび生育速度が速いことなどの利点もあるため、ミニトマト栽培での養液栽培はかなりの割合を占めているのが現状である。しかし、養液栽培とくに水耕における裂果に関する研究事例はほとんどみられない。ミニトマトにおいては裂開した果実は商品価値が全くなり、その損害額は年間約数十億円と試算されている（村瀬、1993）。したがって、裂果の発生を抑制する栽培法の確立は重要で緊急の課題であると考えられる。近年、ミニトマトの裂果発生要因について村瀬（1990、1991）が植物体内の水分状態と関連させた研究について報告し、ミニトマト果実の裂開現象は植物体内とくに果実内の水ポテンシャル変動との関連が深いことを認めている。さらにこの結果に基づいて、裂開現象の有限要素解析を試みており（村瀬、1993）、果皮の水分透過率および環境の水ポテンシャルなどとの関連について検討しているが、栽培学的側面からの知見は極めて少ない。

したがって、本研究においてはまず第1章においてミニトマトの裂果発生と果実諸特性との関係を調査し、裂果発生の難易およびその品種間差異を検討した。第2章においては、裂果発生要因に関連して裂開現象を組織学的見地からとらえ、裂開の様相をとらえることを試みた。また、第3章においては裂果発生の時間帯を明らかにした上で、どのような要因で裂果が発生するのかを調査し、その機構解明を試みた。さらに第4章において、第3章の結果に基づき裂

果発生の制御方法について栽培技術的側面から検討を加え、その可能性を示したものである。

謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、京都大学農学部教授矢澤 進博士にはご校閲とご指導を賜った。また、京都大学名誉教授（故）浅平 端博士には本研究の遂行に際しご指導、ご助言を賜った。島根大学農学部教授細木高志博士、伊藤憲弘博士ならびに稲葉久仁雄博士には、本研究の遂行、とりまとめにあたって、懇切丁寧にご指導を賜った。ここに記して、衷心より感謝の意を表する。

実験の遂行にあたっては、島根大学農学部栽培植物生産学講座ならびに農学部附属農場の教官各位をはじめ、蔬菜花卉園芸学研究室の専攻生諸氏、農学部附属農場の技官各位のご理解、ご協力をいただいた。とくに、東村英幸氏、杉佳彦氏、遠藤浩司氏、戒田昌子氏、梶川 修氏、高橋由之氏、別所崇則氏、松本 献氏、大宅政英氏、長谷川隆一氏および鶴永建治氏には多大のご協力をいただいた。

さらに、植物体の水分状態の測定にあたり島根大学農学部教授小葉田亨博士に、そして走査型電子顕微鏡写真の撮影にあたり島根大学農学部教授野津幹雄博士に懇切丁寧なご指導、ご協力をいただいた。また、蒸散流速測定装置の利用にあたり京都大学農学部教授桜谷哲夫博士ならびに島根大学農学部教授岩尾俊男博士には多大なご理解、ご援助をいただいた。ここに記して、深く感謝の意を表する。

第1章 裂果発生に関わる果実の諸特性ならびに品種間差異

ミニトマト (*Lycopersicon esculentum* MILL.) は品種数が70~100以上存在するといわれており (伊藤、1990b ; 鈴木1990) 、裂果発生の品種間差異に関しては土耕では永井 (1988) および鈴木 (1990) の報告がみられるが、水耕ではほとんど報告がみられない。ミニトマト栽培においてはまず裂果発生の感受性からみた品種間差異を調査しておく必要があると考えられる。この場合、裂果発生の難易と果実諸特性との関係を明らかにしておくは重要である。ところで、大型トマト (榊田ら、1989) およびミニトマト (太田ら、1991) においては水耕培養液濃度が高いほど食味が向上したという報告がみられる。しかし、高濃度の培養液条件下では根における水分状態 (浸透ポテンシャル) が異なるため、植物体の吸水量に差異が生じてミニトマトにおける裂果の発生に対する影響が異なることも考えられる。

したがって、本章においては水耕での裂果発生の品種間差異を調査し、果実特性との関係を検討した。また、数種類の水耕培養液濃度条件下における裂果発生程度についても調査検討した。

第1節 裂果発生の品種間差異ならびに果実特性

本節においては、これまであまり調査の行われていない水耕ミニトマトにおける裂果発生の品種間差異を調査し、果実特性との関係を検討した。また、果実の食味および色調などの向上のためにはできるだけ収穫を遅らせることが望ましいと考えられる (太田ら、1991) が、この場合、裂果の発生が増加する傾向にあることが観察されている。したがって、果実が開花後完熟までおよび裂果にいたるまでの積算温度を調査し、裂果発生の難易との関連について解明を試みた。なお、完熟および裂開したミニトマト果実を第1-1図に示した。

材料および方法

ミニトマトは生産者が栽培している品種の中から主要な14品種を供試した (第1-4図) 。水耕施設は島根大学農学部附属農場のガラス室内に設置された協和 (株) 製のハイポニカ水耕システムを使用した。このシステムはタンク付き

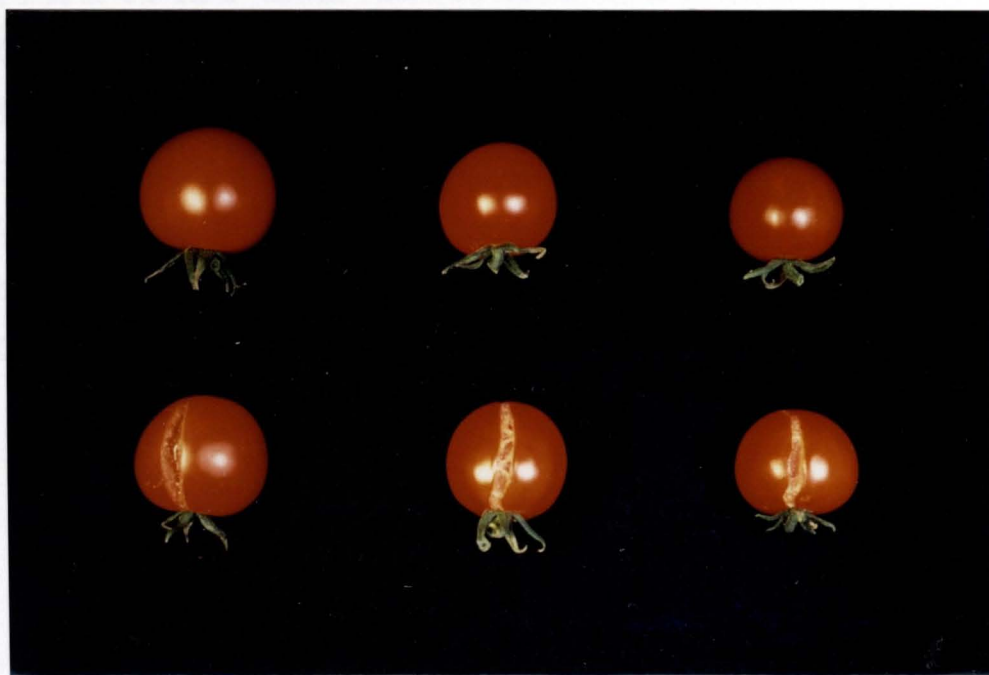


Fig. 1-1. Fully ripe un-cracked (upper) and cracked (lower) fruits in cherry tomatoes. cv. Mini Carol (left), cv. Sun Cherry (middle), cv. Akakokko (right).

循環方式のプラントで、プラスチック製栽培槽（ベッド）の大きさは長さ3.15 m、幅1.0 mおよび深さ 0.1 mである。29ベッドに対し地下タンク（容量10000 liter）1基が設置され、培養液は水中ポンプによって循環させる方式である。給液間隔は1時間当たり7分とし、給液量は1分間当たり7.5 literとした。

1991年3月19日にウレタンマットにミニトマト種子を播種し、25℃、暗黒条件の恒温器内で発芽させた。本葉が1～2枚展開した3月23日に苗を水耕ベッドに移植した。その後、本葉が4～5枚展開した4月15日に、苗を1ベッド当たり14本づつ（株間45 cm）2条に定植した（10a当たり2100本）。なお、供試した株数は1品種当たり4株であった。誘引はポリエチレン製ロープ（セキスイタフープ）を用いて行い、1本仕立てとした。摘心は第5果房上に3葉を残して行った。開花期には、着果および果実肥大促進のために週2回の割合で、15ppm PCPA（p-chlorophenoxyacetic acid：商品名 トマトトーン）をハンドスプレーによって花房に散布した。

水耕培養液は園試処方（ $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、P、K、CaおよびMgをそれぞれ16、1.3、4、8、8および4 $\text{me}\cdot\text{liter}^{-1}$ を含む）に準じて調整した。その濃度は移植から定植までの育苗期間にあつては標準濃度（以後、本論文においては1.0 unit（u）と称する）の0.5倍液（0.5 u；EC値 1.1～1.4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ）とし、定植後

収穫終了時までが1.0 u (EC値 $2.2 \sim 2.7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) として管理した。なお、培養液のEC値は大塚化学(株)製大塚ハウス肥料2号 ($\text{NO}_3\text{-N}=11\%$ 、 $\text{CaO}=23\%$)、同3号 ($\text{NO}_3\text{-N}=13\%$ 、 $\text{K}_2\text{O}=46\%$)、同5号 ($\text{NH}_4\text{-N}=6\%$ 、 $\text{K}_2\text{O}=9\%$ 、 $\text{Mn}=1\%$)、同6号 ($\text{MgO}=16\%$ 、 $\text{SO}_4\text{-S}=12\%$) および同7号 ($\text{NH}_4\text{-N}=11\%$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5=60\%$) によって調整した。また、pHは栽培期間中5.5~7.0の範囲であったため、とくに調整は行わなかった。収穫は1991年6月24日から7月26日の間に週3回の割合で行った。なお、本実験における収穫期の気温および日照時間の推移を第1-2図に示した。

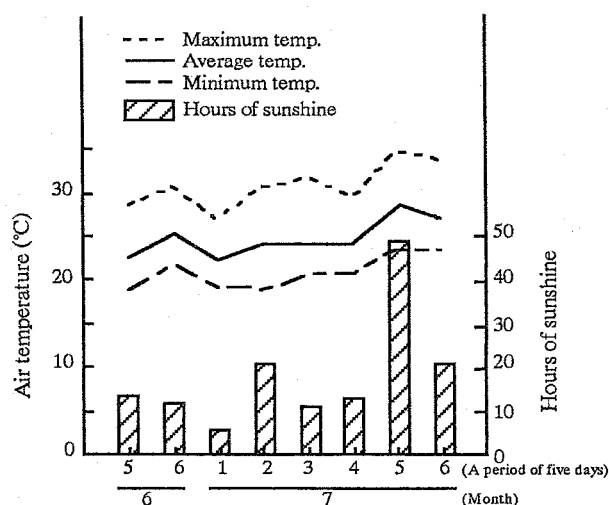


Fig. 1-2. Changes of air temperature and hours of sunshine on harvest time of cherry tomatoes.

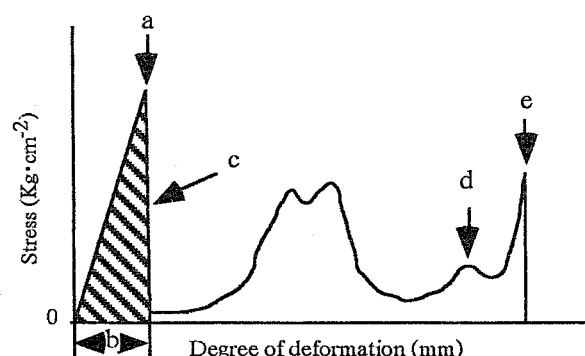


Fig. 1-3. Stress-deformation curve and penetrating energy of penetrating test of cherry tomato fruit. a : Penetrating stress, b : Penetrating deformation, c : Penetrating energy, d : Penetrating resistance of flesh, e : Penetrating resistance of skin.

調査項目は第1~3果房においては、裂果発生率(収穫果数に対する裂果数の割合)、裂果の裂開長率(果実を球と仮定し、裂開した長さを球周の長さで除したもの)、果実の糖度(Brix: アタゴ製、屈折糖度計 N-10)、滴定酸度(1/10N NaOHによる中和滴定、クエン酸換算)、浸透ポテンシャル(氷点降下法)、果実重および果肉・果皮の硬さ(貫入抵抗値: 万能引張り試験機、東洋ボールドウィン・テンシロン UTM-II-20)であった。なお、本研究における果実の測定部位は、上村ら(1972)の結果に基づき赤道部を代表させた。貫入抵抗および貫通抵抗の測定においては伊藤ら(1979)の報告を参考にして行った。以後、本研究において測定された外力-変形曲線のモデルを第1-3

図に示した。本節においては、果肉および果皮の硬さを貫通抵抗力値（第1-3図、dおよびe）をもって表した。これは果実を縦方向に2分割し、果肉においてはピンセットにより果皮を除去した後、果皮においてはそのまま切断面（果実内側）から赤道部にプランジャを貫通させて測定した。万能引張り試験機に使用したプランジャは鋼鉄製の直径3 mmの円柱状で、先端部は平面であった。また、プランジャの圧縮速度は $40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 、記録計の用紙送り速度は $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ とした。

また、第4および5果房においては、毎日開花した花に異なる色の毛糸で印を付け各花の開花日を記録した。その後、果房内で5果程度裂果した時点で房ごと収穫し、果実が開花から完熟までおよび開花から裂果にいたるまでの積算温度（栽培期間中における1時間ごとの気温（ 0°C 以上）から1日当たりの平均気温を計算）を算出した。また、果実赤道部表面（測色面積は 0.9 cm^2 ）の色調（L、aおよびb値：色差直読デジタル測色色差計、日本電子工業製ND-504DE）を測定した。なお、完熟果は伊藤（1984）の報告に基づき、a/b値が1.30以上のものと判断した。

結果および考察

ミニトマト14品種の裂果発生率ならびに裂開長率を第1-4図に示した。裂果発生率は‘アカコッコ’で50%以上と高く、逆に‘ミニキャロル’、‘イブ’および‘ミニカプリ’で20%以下と低かった。その他の品種は31~44%の裂果発生率を示した。また、裂開長率はほとんどの品種で40~50%の値を示し、裂果発生率との関連はとくに認められなかった。ただし、本実験における裂果発生率は全体的にやや高い数値を示した。この要因は第1-2図に示したように1991年においては、収穫時期における日照時間が148時間と同時期の10年間の平均値246時間（吉野ら、1985）と比較して約60%と少なかった、すなわち、曇天あるいは雨天が多く、相対湿度が高かったことによるものと考えられる。

果実の糖度（Brix）については‘アカコッコ’が9.0で最も高く、ついで‘レッドピグミー’および‘ミニキャロル’が8.0以上と高い数値を示した（第1-1表）。逆に、‘シュガーランプ’、‘イブ’および‘ミニカプリ’は7.0未満と低い数値を示した。その他の品種は7.0~8.0であった。滴定酸度は‘ピコ’が0.64%と最も高く、逆に‘シュガーランプ’および‘イブ’は0.50%未満と低かった。

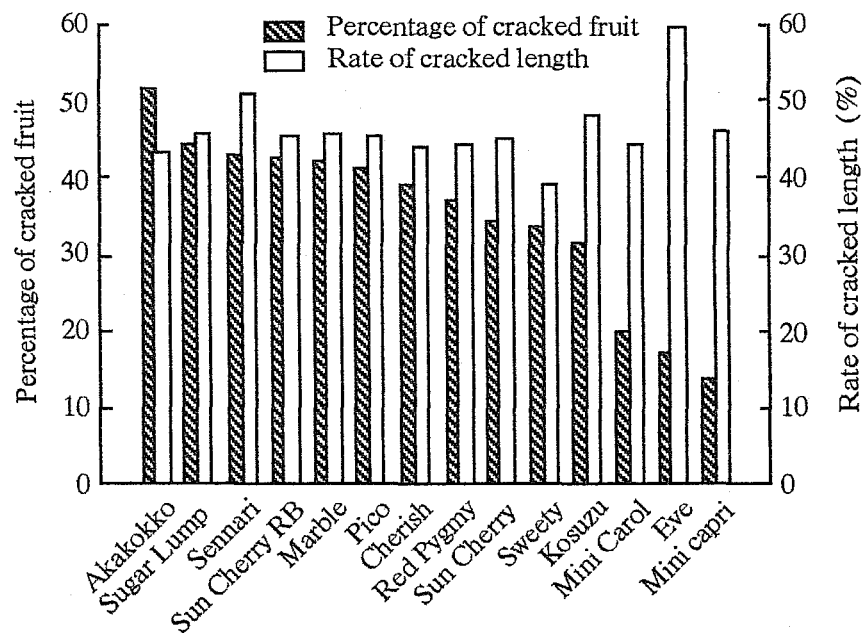


Fig. 1-4. The differences among cultivars in the rate of fruit cracking and cracked length in cherry tomato grown hydroponically.

Table 1-1. The differences among cultivars in soluble solids content, titratable acidity, osmotic potential, weight and hardness in cherry tomato fruits.

Cultivar	Soluble solids content (Brix)	Titratable acidity ^z	Osmotic potential (—MPa)	Weight (g)	Penetrating resistance	
					Flesh (Kg·cm ⁻²)	Skin (Kg·cm ⁻²)
Akakokko	9.0	0.60	1.41	11.2	1.34	4.73
Sennari	7.6	0.57	1.35	13.9	1.58	4.60
Sugar Lump	5.7	0.46	1.04	21.6	1.27	3.86
Marble	7.4	0.58	1.21	14.6	1.25	4.62
Sun Cherry RB	7.8	0.59	1.33	14.6	1.68	5.48
Pico	7.2	0.64	1.26	20.2	1.88	5.81
Cherish	7.5	0.57	1.24	13.7	1.72	5.27
Red Pygmy	8.3	0.55	1.37	12.9	1.83	4.87
Sun Cherry	7.8	0.58	1.24	14.8	1.71	5.54
Sweety	7.0	0.55	1.33	11.8	1.97	5.85
Kosuzu	7.7	0.57	1.26	13.3	1.71	4.73
Mini Carol	8.2	0.51	1.32	16.1	1.88	5.88
Eve	6.3	0.48	1.20	15.6	1.51	4.80
Mini Capri	6.7	0.52	1.20	18.8	1.68	4.89
<hr/>						
L.S.D.	0.05	0.31	0.030	0.304	0.75	0.231
	0.01	0.40	0.039	0.409	0.98	0.303

^z % as citric acid.

浸透ポテンシャルは糖度と高い負の相関関係が認められ ($r = -0.850$ 、1%水準で有意)、高糖度の‘アカコッコ’および‘レッドピグミー’などは浸透ポテンシャルが低く、低糖度の‘シュガーランプ’の浸透ポテンシャルは高いこと

が認められた。果実重は‘アカコッコ’および‘スィーティー’が11 g台と小さく、‘シュガーランプ’および‘ピコ’が20 g以上と大きかった。果肉の貫通抵抗値は‘マーブル’、‘シュガーランプ’および‘アカコッコ’が $1.40 \text{ Kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以下と軟らかかった。逆に‘スィーティー’は $1.97 \text{ Kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ と硬かった。果皮の貫通抵抗値は概ね果肉の貫通抵抗値と同様な傾向を示し、果肉の硬い品種は果皮も硬いことが示された。

果実が開花後完熟までさらに裂果にいたるまでの積算温度を第1-2表に示した。開花後裂果までの積算温度は裂果発生率と高い負の相関関係を示した ($r = -0.904$ 、1 %水準で有意)。すなわち、裂果発生率の高い品種ほど裂果までの積算温度は低く、‘アカコッコ’では843 degreeであったのに対し、‘ミニキャ

Table 1-2. The differences among cultivars in cumulative temperature from anthesis to fully ripe stages ($a/b > 1.30$)^z and cracked stage in cherry tomato fruits.

Cultivar	Fully ripe (A) (degree)	Cracked (B) (degree)	Difference (B-A) (degree)
Akakokko	777	843	49
Sennari	803	861	59
Sugar Lump	813	857	48
Marble	792	862	72
Sun Cherry RB	834	902	71
Pico	809	885	74
Cherish	791	874	85
Red Pygmy	811	908	97
Sun Cherry	771	851	83
Sweety	849	957	108
Kosuzu	792	895	103
Mini Carol	875	1026	157
Eve	1030	1155	125
Mini Capri	963	1117	123
<hr/>			
L.S.D.	0.05	68.3	72.9
	0.01	93.2	96.6

^z Degree of maturity

ロル’、‘イブ’および‘ミニカプリ’では1000 degreeを超えた。開花から完熟までの積算温度も同様に裂果発生率と負の相関関係を示した ($r = -0.808$ 、1 %水準で有意)。また、開花から完熟までと裂果までとの積算温度の差も負の相関関係を示した ($r = -0.906$ 、1 %水準で有意)。したがって、裂果しやすい品種ほど完熟後短期間に裂果にいたることが明らかとなった。その他、裂果発生率と糖度などの間には明瞭な相関関係はみられなかった。

第2節 異なる水耕培養液濃度における裂果発生と果実特性

太田ら (1991) は水耕培養液が高濃度になるほど、また収穫時期が遅れるほど果実の食味が向上したということを明らかにした。しかし、高濃度培養液で栽培した場合に裂果の発生が増加する傾向にあることも観察された。収穫が遅

延するほど裂果の発生が増加するという事は、ミニトマトにおける裂果は成熟過程に発生すると考えることもできる。また、前節の結果から、開花から完熟するまでと開花から裂果が発生するまでの積算温度の差異は品種によって大きく異なっていることが認められた。

そこで、本節では裂果発生程度が異なる数品種を供試し、数種培養液濃度で栽培された場合の裂果発生と果実特性との関連を検討し、またこの場合における開花から完熟まであるいは開花から裂果までの積算温度について調査した。あわせて、人工裂開法によって裂果発生の感受性を調査した。

材料および方法

本実験に供試されたミニトマト品種は、前節の結果に基づき、裂果発生率および糖度の差異から‘シュガーランプ’、‘サンチェリー’、‘ミニキャロル’および‘アカコッコ’の4品種を選定した。種子は1990年7月19日に播種し、8月17日に水耕ベッドに移植した。本実験においては、1処理区当たり6株を供試した。第2果房上に3葉を残して摘心した。育苗期間ならびに定植後7日目までは培養液濃度を0.5 uとした。定植後7日目以降から第2果房収穫終了まで、培養液濃度を0.5 u、1.0 uおよび2.0 uに変更した。各培養液のEC値は週2回の割合で調整し、さらに2週間に1度培養液を全量更新した。水耕装置は第1章第1節と同様なシステムであるが、栽培ベッドの大きさは長さ1.2 m、幅0.6 mおよび深さ0.1 mで、4～6ベッド当たりに給液タンク（容量800 liter）1基および排液タンク（容量200 liter）1基が設置され、培養液は水中ポンプによって循環させる方式である。なお、水耕培養液およびその他の栽培方法は第1章第1節と同様であった。

果実の収穫は1990年10月11日から12月7日に週3回の割合で実施した。収穫時に収穫果数に対する裂果数を調査し裂果発生率を算出した。果実が開花から完熟まであるいは開花から裂果までの積算温度を第1章第1節と同様な方法で算出した。完熟段階に達した果実の判定は、色差計により果実のa/b値が1.30以上のものとした。

果実品質に関する調査は、色調（L、aおよびb値）、果実重、糖度（屈折計示度）、滴定酸度（クエン酸換算）、浸透ポテンシャル（氷点降下法）および果肉・果皮の硬さ（貫通抵抗）とした。なお、貫通抵抗は果実赤道部に

において前節と同様な方法で測定を行った。

完熟果実において裂果発生にいたるまでに必要とされる水分量を調査した。この人工裂開法は二井内（1963）の方法を参考にし、注射器（2 ml容）により、がく片を丁寧に除去した果実の中心部より針を挿入し徐々に蒸留水を注入し、果実が裂開した時点での注入量を記録した（第1-5図）。なお、果実の体積は300 mlビーカーに完全に沈め、あふれた水の量から算出した。

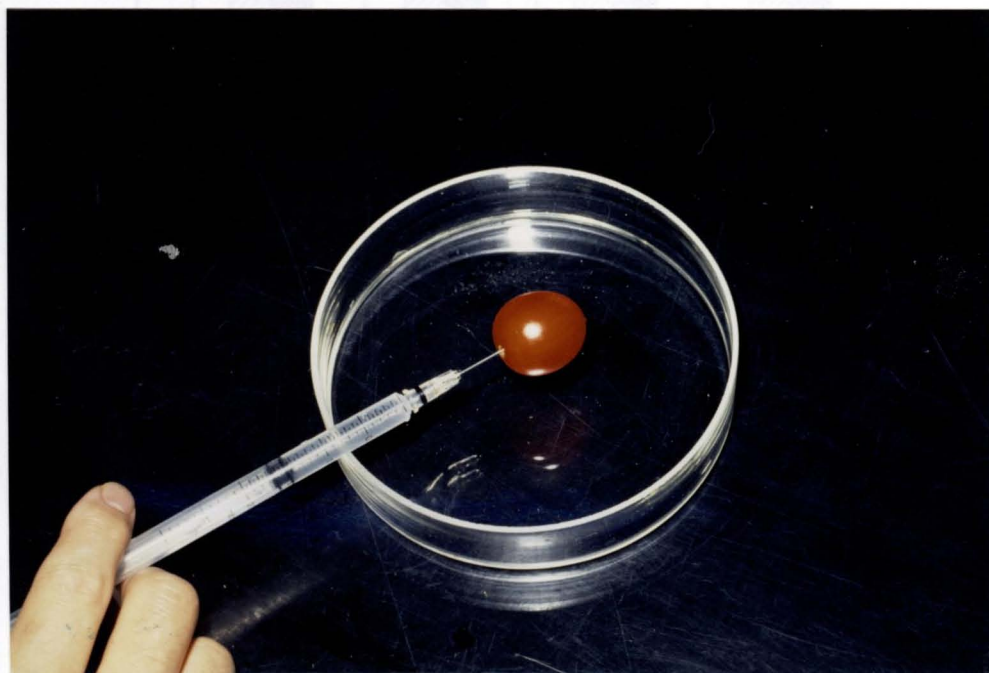


Fig. 1-5. Artificial cracking method.

結果および考察

供試した4品種において裂果発生率が最も高かった品種は‘アカコッコ’で約40%で、逆に最も低かった品種は‘ミニキャロル’で7~14%であった（第1-6図）。他の2品種は10~30%程度の値を示し、品種による明瞭な差異が認められた。‘アカコッコ’を除いた3品種においては培養液濃度が高くなるにつれて、裂果発生率が有意に高くなった。

開花から完熟までの積算温度は‘アカコッコ’が最も低く、ついで‘サンチェリー’、‘シュガーランプ’、‘ミニキャロル’の順に高い値を示した（第1-7図）。開花から裂果までの積算温度は、‘アカコッコ’が最も低く、ついで‘シュガーランプ’、‘サンチェリー’、‘ミニキャロル’の順に高い値を

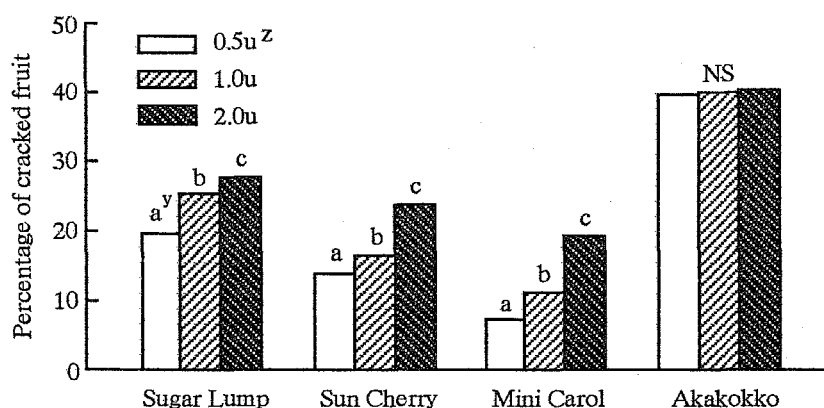


Fig. 1-6. Effect of the concentrations of nutrient solution on the rate of fruit cracking in four cultivars of cherry tomato.

^z The concentration of nutrient solution ; one unit (1.0u) is standard concentration.

^y Different letters within the same cultivar indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

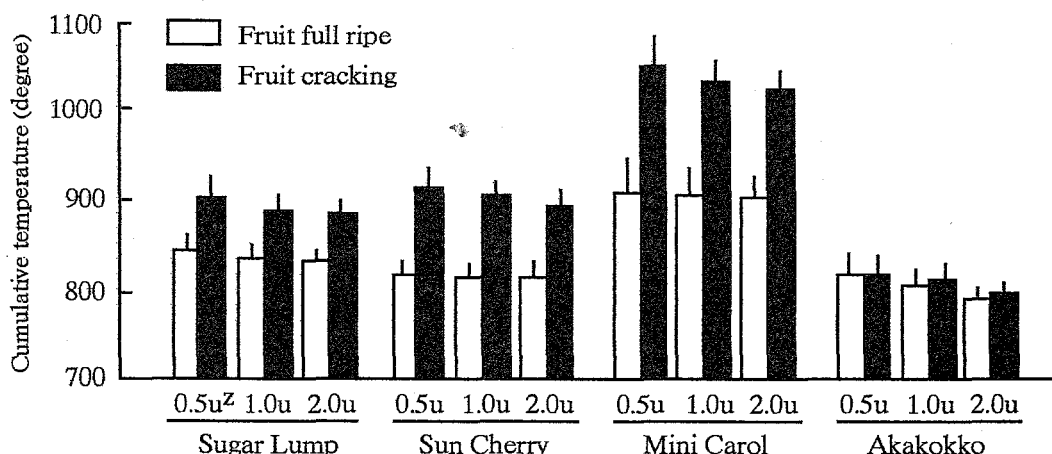


Fig. 1-7. Effect of the concentrations of nutrient solution on the cumulative temperature from anthesis to fruit full ripe (a/b > 1.30) or fruit cracking in four cultivars of cherry tomato. Vertical bars indicate standard error of the mean.

^z The concentration of nutrient solution ; one unit (1.0u) is standard concentration.

示した。全品種において培養液濃度が高くなるにつれて、積算温度は低下する傾向を示した。また、開花から完熟までの積算温度と開花から裂果までの積算温度との差は‘ミニキャロル’において最も大きく、逆に‘アカコッコ’において最も小さい値を示し、品種間差異が認められた。

果実品質に関しては、色調については培養液濃度による差異はみられなかった(第1-3表)。しかし、糖度は‘アカコッコ’において最も高く、‘シュガー

Table 1-3. Effect of the concentrations of nutrient solution on coloration, weight, soluble solids content, titratable acidity, osmotic potential and penetrating resistance of cherry tomato fruit.

Cultivar	Treatment	L	a	b	a/b	Soluble solids content (Brix)	Titratable acidity ^z	Osmotic potential (-MPa)	Weight (g)	Penetrating resistance	
										Flesh(Kg·cm ⁻²)	Skin(Kg·cm ⁻²)
Sugar Lump	0.5u ^y	30.7	18.5	12.5	1.47	5.5 ax	0.46 a	0.87 a	25.1 c	2.16 c	3.49
	1.0u	30.6	18.6	12.3	1.49	6.3 b	0.49 b	0.92 b	21.5 b	2.04 b	3.80
	2.0u	30.9	19.0	12.3	1.55	7.0 c	0.51 c	1.04 c	17.2 a	1.85 a	3.91
		NS	NS	NS	NS						NS
Sun Cherry	0.5u	29.1	15.0	10.6	1.40	7.1 a	0.53 a	0.98 a	13.4 c	1.97 b	5.21
	1.0u	29.0	15.1	10.5	1.44	7.5 b	0.54 a	1.05 b	11.9 b	1.77 ab	5.22
	2.0u	29.2	15.5	10.3	1.47	8.5 c	0.57 b	1.19 c	10.4 a	1.63 a	5.19
		NS	NS	NS	NS						NS
Mini Carol	0.5u	29.1	14.6	10.5	1.37	7.2 a	0.49 a	1.10 a	14.2 c	2.18 b	5.83
	1.0u	29.1	14.2	10.7	1.35	8.2 b	0.51 b	1.19 b	12.9 b	2.12 b	6.15
	2.0u	29.3	15.2	10.5	1.43	8.8 c	0.53 b	1.43 c	11.6 a	1.85 a	6.21
		NS	NS	NS	NS						NS
Akakokko	0.5u	30.4	15.5	11.2	1.35	9.1	0.57 a	1.38	9.2	1.83 b	5.48
	1.0u	30.5	16.1	11.2	1.41	9.4	0.60 b	1.45	8.6	1.71 ab	5.58
	2.0u	29.9	14.7	10.9	1.37	9.4	0.60 b	1.53	8.7	1.55 a	5.73
		NS	NS	NS	NS	NS		NS	NS		NS

^z % as citric acid.

^y The concentration of nutrient solution ; 1.0u is standard concentration.

^x Different letters within the same cultivar indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

ランプ' で最も低かった。さらに、'アカコッコ' を除いた3品種では培養液濃度が高くなるほど糖度が増加した。滴定酸度は'アカコッコ' で最も高く、'シュガーランプ' で最も低かった。この値は培養液濃度が高くなるほど増加

Table 1-4. The differences of injection volume of distilled water at fruit cracking by injector in a each fruit harvested from three concentrations of nutrient solution.

Cultivar	Treatment	Injection volume (ml)	Injection volume per fruit volume (%)
Sugar Lump	0.5 u ^z	0.64 c ^y	4.59 c
	1.0 u	0.51 b	4.30 b
	2.0 u	0.44 a	4.09 a
Sun Cherry	0.5 u	0.55 c	6.08 c
	1.0 u	0.41 b	5.47 b
	2.0 u	0.34 a	4.77 a
Mini Carol	0.5 u	0.60 c	6.81 c
	1.0 u	0.54 b	6.13 b
	2.0 u	0.40 a	5.28 a
Akakokko	0.5 u	0.35 b	5.15 b
	1.0 u	0.32 b	4.85 b
	2.0 u	0.25 a	4.23 a

^z The concentration of nutrient solution ; 1.0u is standard concentration.

^y Different letters within the same cultivar indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

する傾向がみられた。浸透ポテンシャルおよび果実重は'シュガーランプ' が最も高く、逆に'アカコッコ' が最も低い値を示した。果実重は'アカコッコ' を除いて、培養液濃度が高まるほど有意に減少した。果肉の貫通抵抗値は、培養液濃度が高くなるにつれて低下する傾向を示した。一方、果皮の貫通抵抗値は全品種いずれも培養液濃度に明瞭な差異はみられなかった。

供試した4品種において

裂果発生をもたらすために注入された蒸留水量は、‘アカコッコ’が最も小さかった（第1-4表）。また、果実体積に対する蒸留水の注入量の割合は‘アカコッコ’および‘シュガーランプ’で低い値を示し、‘ミニキャロル’で大きい値を示した。つまり、実際栽培した場合における裂果発生率が高い品種ほど、少量の蒸留水で裂開したことが認められた。また、培養液濃度が高くなるほど、果実体積に対する注入量の割合が低下し、すなわち少量の蒸留水の注入で裂果の発生がみられた。この結果は、高濃度の培養液で栽培された果実は少量の水が果実内に入っても裂開しやすくなっていることを示唆している。

第3節 総合考察

水耕ミニトマトの裂果発生に関しては、第1章第1節の結果から、裂果発生率が高い‘アカコッコ’、裂果発生率が低い‘ミニカプリ’など、大きな品種間差異がみられた。裂果発生に品種間差がみられた要因について検討すると以下のようなになる。本実験に供試した14品種の中で裂果発生率が最も高かった‘アカコッコ’は果実重が小さく、糖度が高くかつ果実の浸透ポテンシャルが低い品種であった。果実の浸透ポテンシャルが低いことは、水ポテンシャルが低下する要因になるため、間接的ではあるが吸水力が大きいことを示すものである（長野、1988）。また、果肉および果皮の貫通抵抗も他の品種と比較して小さかった。したがって、裂果発生率の高い品種は果実自体の吸水力も大きくかつ物理的にも果肉および果皮が軟らかかったことが考えられる。

これとは逆に、裂果の発生が少なかった‘ミニキャロル’は糖度が比較的高く浸透ポテンシャルも低かったことから、果実の吸水力自体は高いものと推察されるが、果肉および果皮が硬く、果実重も比較的大きいため吸水しても容易には裂果には至らなかったのではないかと考えられる。また、‘ミニキャロル’と同様に裂果の発生が少なかった‘イブ’および‘ミニカプリ’においては糖度が比較的低くて浸透ポテンシャルも高いため果実自体の吸水力が弱いため果実へ流入する水量がそれほど多くなく、果肉および果皮がそれほど硬くなくても裂果の発生は少なかったのではないかと考えられる。したがって、果実の特性に関しては、裂果の発生に対して果実の糖度、浸透ポテンシャルおよび果肉・果皮の硬さが関与することが示されたが、これらは単独で関与するものではなく、いくつかの特性が相互に関連して影響していたものと考えられる。

裂果の発生と開花後果実が完熟までおよびさらに裂果にいたるまでの積算温度との関係は、高い負の相関関係が認められた。このことは熟期の早い品種ほど裂果の発生が多く、また完熟から裂果までの速度も早いことを示している。ただし、‘アカコッコ’では高温期には果皮色がやや橙黄色になりやすいため、肉眼では果皮色による熟度判定が困難な場合があり、結果的に収穫が遅れてより裂果の発生が多くなりやすいと考えられる。これとは反対に、‘ミニキャロル’は完熟から裂果までの積算温度の差が150 degree以上と大きいため、熟度がある程度進行してから収穫することが可能である。したがって、食味の面でも果実の糖度向上もあわせて期待でき、生産しやすい品種の一つであるといえよう。

第2節の結果から、ミニトマトの多くの品種で果実品質を高める高濃度培養液において裂果発生率の上昇を引き起こした。開花から完熟までおよび裂果発生までの積算温度において、品種間差異は明らかであり、第1節と同様の結果が得られた。ただし、培養液濃度間については開花から裂果までの積算温度は高濃度区ほど低下する傾向はみられたものの、明瞭な差異は認められなかった。

本実験の結果から、高濃度培養液ほど裂果の発生が増加した果実特性としては、‘アカコッコ’を除いた3品種においては果実糖度の増加、低浸透ポテンシャルおよび果肉硬度の低下に起因し、これらの特性が相互に関連すると思われる。ただし、‘アカコッコ’においては培養液濃度に関係なく、高い糖度および果肉部の低い浸透ポテンシャルを示した。果実の高糖度および低浸透ポテンシャルは吸水力の大きいことを示唆し、また果実の高い圧ポテンシャルを生じさせる要因になると考えられる。したがって、低い培養液濃度で栽培しても裂果の発生が多くなったと考えられる。果実特性は遺伝的に支配されていると考えるならば、この品種においては培養液濃度を変えることによって裂果の発生を制御することは困難であろうと推察できる。

本章における実験結果から、裂果発生の要因は非常に複雑で、しかも1つの要因によって制御されているものではないと推察される。これまでに、二井内ら(1960)、Batal et al. (1970) およびVoisey et al. (1961, 1970) は大型トマトにおいて裂果の発生が果皮の硬さあるいは弾性と関連があり、果皮が硬いあるいは弾性が大きい果実ほど耐裂果性を有すると報告した。本章においては弾性に関する測定は実施しなかったが、これは果皮および果肉の貫通抵抗力値を測定することによって裂果発生の難易との関連が説明可能であったためであ

る。また、大型トマトにおいて裂果発生の要因として果皮の硬さにのみ着目している研究が多い中で、上村ら（1972）は果肉深くき裂を生じる裂果は果肉の硬さと関連があったことを示唆した。ミニトマトの裂果は果肉までき裂が生じる側面裂果であり、本実験の結果においても、地上部の環境条件が同一で地下部の栽培条件（水耕培養液濃度）を変更した場合には、果皮の硬さより果肉の硬さが裂果の発生と密接な関連があったということを示した。寺林ら（1985）も培養液濃度が高いほど大型トマトの果肉の硬さが低下したことを報告し、本実験のミニトマトでも同様の結果を得た。したがって、この結果は、上村ら（1972）によって提案された裂果の要因の一つを支持するデータであると考えられる。

人工裂開法（注射器による蒸留水の注入）によって人為的に裂果を発生させた場合、裂果の発生しやすい品種ほど少量の注入水量で裂開したことが確認できた。また、低濃度の培養液で生産された果実より高濃度の培養液で生産された果実が容易に裂開しやすかった。この結果は培養液濃度が高い場合には、少量の吸水によっても裂果の発生を引き起こすことを示したものである。上記の人工裂開法による裂果発生の結果は、実際に栽培した場合における裂果発生の難易を的確に再現できたといえよう。

第4節 摘 要

ミニトマトにおいて水耕における果実特性および裂果発生の品種間差異を明らかにすることによって、市場性の高い品種を探索した。開花後果実が完熟さらに裂果にいたるまでの積算温度を調査し、裂果発生の難易との関連について検討した。また、数種水耕培養液濃度における裂果発生の程度および果実特性について調査検討した。

1. ミニトマト14品種を供試し調査した結果、裂果発生率には顕著な品種間差異が認められ、発生率が最も多い‘アカコッコ’で50%を超え、逆に少ない‘ミニカプリ’などで20%以下であった。ただし、裂開長率には品種間に一定の傾向はみられなかった。裂果発生の要因には、糖度、浸透ポテンシャル、果実重および果肉・果皮の硬さなどが相互に関連していた。開花後果実が完熟さらに裂果にいたるまでの積算温度は裂果発生率と負の相関関係が認められ、裂果発生率が高い品種ほど開花後完熟まで、さらに完熟から裂果までの積算温度

の差も小さいことが認められた。本実験の結果から判断して、市場性の高いミニトマト品種としては‘ミニキャロル’があげられた。

2. ‘シュガーランプ’、‘サンチェリー’、‘ミニキャロル’および‘アカコッコ’を供試して培養液濃度が裂果発生に及ぼす影響を調査し、裂果発生要因との関連を検討した。‘アカコッコ’を除いた3品種においては培養液濃度が高いほど裂果発生が増加した。裂果発生が増加した要因は果実の糖度の上昇、浸透ポテンシャルの低下および果肉の硬さの低下などによるものと考えられた。しかしながら、‘アカコッコ’では高糖度、低浸透ポテンシャルおよび果肉の低硬度などにより培養液濃度の影響をほとんど受けなかった。開花から成熟までおよび裂果にいたるまでの積算温度の差異はいずれの品種においても培養液濃度の影響がみられなかった。また、高濃度培養液で栽培された果実ほど少ない水の注入量（果実体積当たりも同様）で人工裂開を生じた。

第2章 組織学的観点からみた裂果発生の様相

大型トマト (Bakker, 1988) および甘果オウトウ (Glenn and Poovaiah, 1989) においては裂果は果皮表面にできた小き裂 (クチクラ裂果) が発達・拡大したものであることが確認されている。上村ら (1972) は大型トマトにおいて放射状裂果の発生起点が、がく片周辺近傍の表皮に発生した小き裂であったことを報告した。また、同心円状および側面裂果の発生は果実肩部から側部に発生した小き裂を起点として発達拡大したものであるとしている。しかし、ほとんどの裂果が側面裂果であるミニトマトについては少なくとも果実表面の側部などにおいて小き裂は確認されておらず、これまでミニトマトの裂果発生の起点に関しては明らかにされていない。裂開した果実の細胞は吸水により肥大していると推察されるが、裂開による果肉細胞の大きさの変化を検討した例はこれまでみられない。また、土耕および水耕による栽培での裂果発生率が異なることが観察されているが、この場合においても果実の細胞の大きさの差異を比較した例はみられない。さらに、ミニトマト果実の裂開の様相を組織学的見地から観察した研究はみられない。

したがって、第2章においてはミニトマトにおける小き裂の発生とその発達を明らかにし、さらに上述した果実の細胞の大きさを比較検討することおよび果実裂開部位の組織学的観察を行うことによって、ミニトマトの裂果発生の様相を解明しようと試みたものである。

第1節 裂果発生の起点部位および裂果発生の進行の様相

上村ら (1972) は大型トマトでは放射状裂果発生の起点が、がく片周辺の表皮の表面に発生した小き裂であり、側面裂果の発生起点は果実肩部などに発生した小き裂であることを報告した。しかし、ミニトマトについては裂果発生の起点に関しての報告はみられない。そこで、本節では小き裂の起点の発生、裂開の発達およびこれらの品種間差異を明らかにするために実施した。

材料および方法

本実験で供試したミニトマト品種は第1章の実験結果に基づき、裂果発生が

比較的少ない‘ミニキャロル’、中程度の‘サンチェリー’および比較的多い‘アカコッコ’とした。島根大学農学部圃場に設置されたビニールハウス内で栽培を行った。種子は1993年3月2日に播種し、本葉が4～5枚展開した4月28日に1/2000 aワグネルポットに定植した。なお、1ポット当たり1株とし、株間50 cm、条間100 cm（10a当たり2000本）で定植した。通気はエアーポンプにより、 $1.25 \text{ liter} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{pot}^{-1}$ の割合で連続して行った。培養液管理およびその他の栽培方法は、第1章第1節と同様に実施した。

開花後毎週、がく片の基部に隣接した果実表皮に現れたくさび形小き裂の数および長さを各品種20果ずつ実体顕微鏡下で調査した。調査した果実については、果実円周長を測定し、果実円周長に対する最大小き裂長の割合を計算した。また、完熟果においてはがく片付着部中央から注射器によって蒸留水を注入することによって、裂開発生の起点を観察した。さらに、がく片付着部近傍および果実赤道部の表皮細胞の大きさについては、顕微鏡に設置したマイクロメーターにより1 mm当たりの細胞数から1細胞の大きさを算出した。果実収穫時（週3回の割合）には収穫果数に対する裂果数を調査し、裂果発生率を算出した。

結果および考察

‘サンチェリー’および‘アカコッコ’においては、最初の小き裂の発生が開花後2週目で観察された（第2-1図）。一方、‘ミニキャロル’では前2品種と比較して1週間遅れ、開花後3週目に観察された。3品種いずれにおいても小き裂の長さは毎週増加したが、品種間差異は明瞭に認められなかった（第2-2図）。小き裂の数は3品種いずれも毎週増加したが、なかでも、‘アカコッコ’の小き裂数の増加は他の2品種と比較して著しく多かった。その結果、開花後7週目の果実（完熟果）における小き裂数は約15と3品種中最大値を示した。

なお、‘サンチェリー’における小き裂の発達の状況を第2-3aおよびb図に示した。小き裂数の増加およびその長さの進行状態が明瞭にとらえられた。本実験においては、比較的裂果発生の感受性の高い‘アカコッコ’および裂果感受性が中程度の‘サンチェリー’では小き裂の発生が、開花後2週目から確認された。一方、裂果発生率が比較的低かった‘ミニキャロル’では小き裂の発生は、開花後3週目で確認され、小き裂発生の早晚があることが認められた。

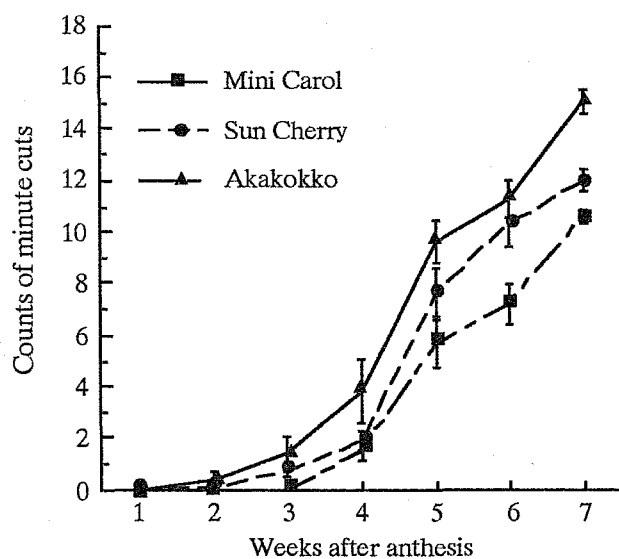


Fig. 2-1. The differences among cultivars in counts of minute wedge-shaped cuts that appeared on the surface of fruit epidermis adjacent to the base of calyx in cherry tomato fruit. Vertical bars indicate standard errors of the mean.

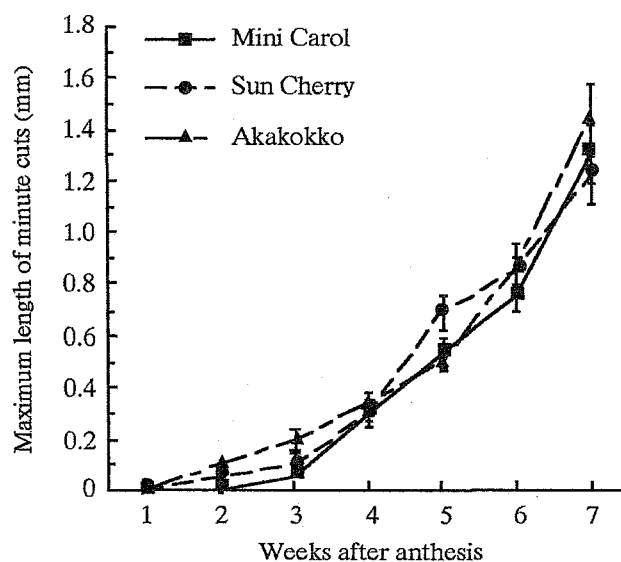


Fig. 2-2. The differences among cultivars in maximum length of minute wedge-shaped cuts that appeared on the surface of fruit epidermis adjacent to the base of calyx in cherry tomato fruit. Vertical bars indicate standard errors of the mean.

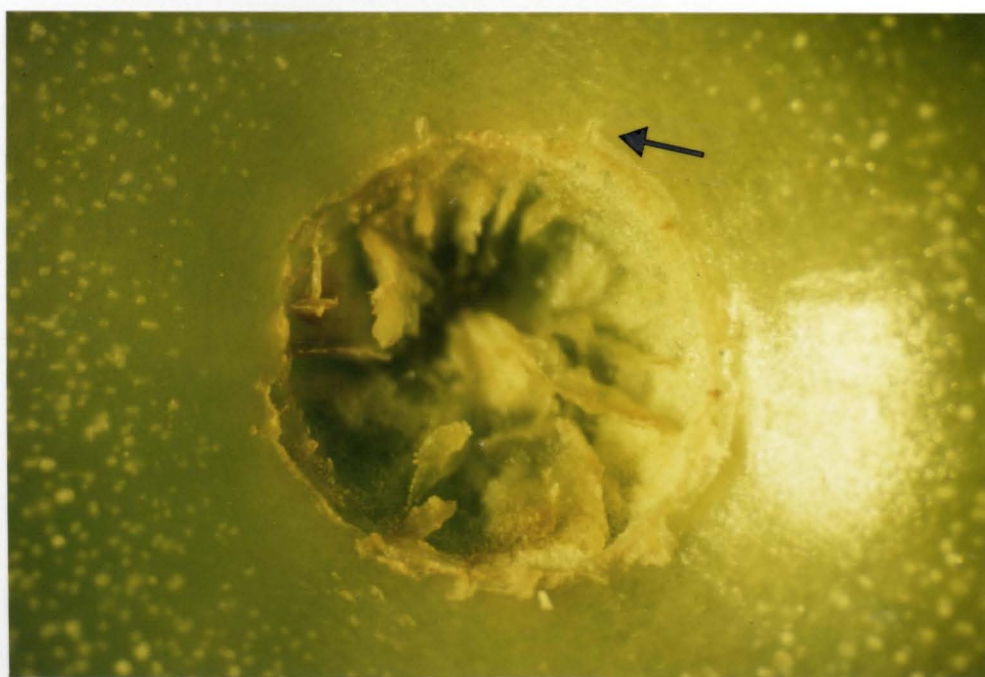
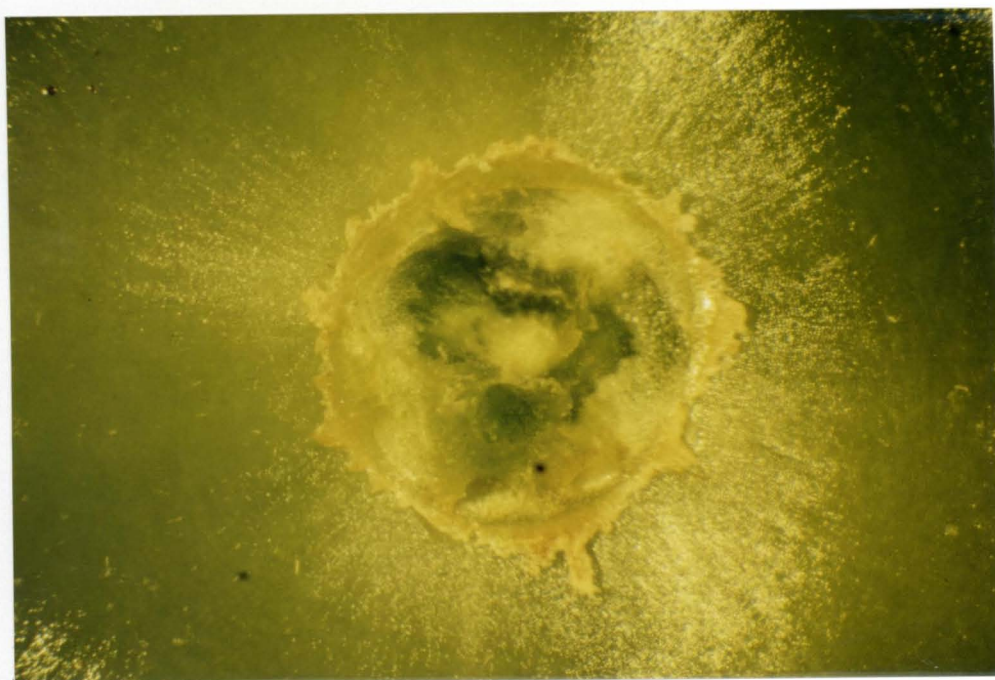


Fig. 2-3a. Development of minute wedge-shaped cuts that appeared on the surface of fruit epidermis adjacent to the base of calyx in cv. Sun Cherry grown hydroponically. The arrow indicates a minute cut. One weeks after anthesis (upper), three weeks after anthesis (lower).

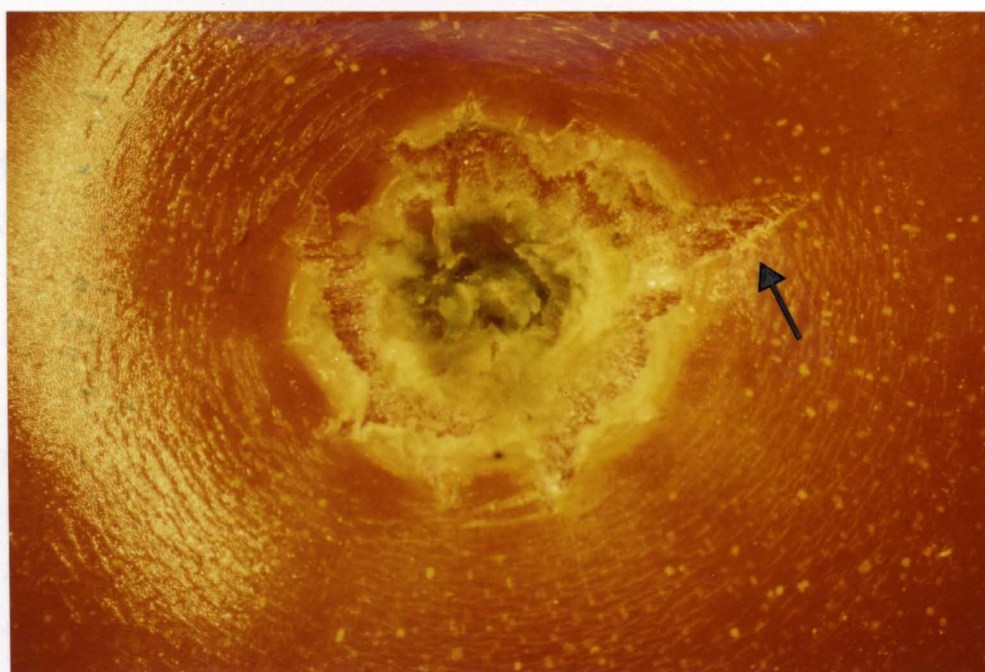
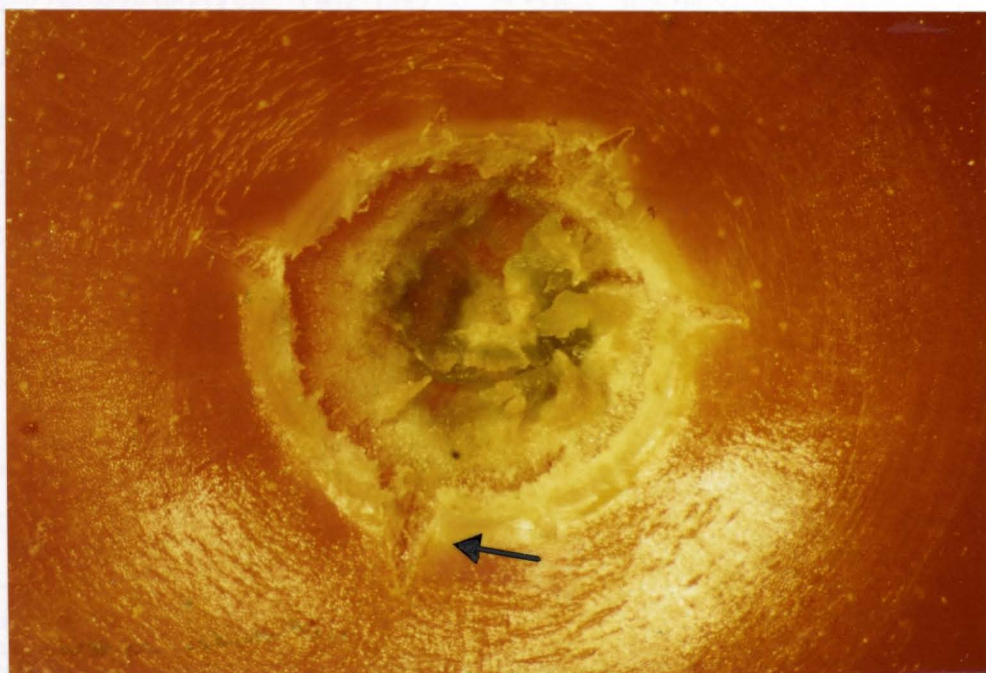


Fig. 2-3b. Development of minute wedge-shaped cuts that appeared on the surface of fruit epidermis adjacent to the base of calyx in cv. Sun Cherry grown hydroponically. The arrow indicates a minute cut. Five weeks after anthesis (upper), seven weeks after anthesis (lower).

‘アカコッコ’では裂果発生率が全ての品種中で最も高い値を示し、第1章と同様の結果が得られた(第2-1表)。さらに、完熟期の果実では3品種いずれも最大小き裂長は同程度であったにもかかわらず、果実球周長に対する最大小き裂長の割合は、‘ミニキャロル’が最も小さく、ついで‘サンチェリー’、‘アカコッコ’の順に有意に大きいことが認められた。この理由としては、‘アカコッコ’の果実の大きさがとくに小さく、かつやや果肉および果皮が軟

らかいことによるものであったと考えられる。その結果、裂果発生率の高低は、果実球周長に対する最大小き裂長の割合と比例関係が認められた。

Table 2-1. The differences among cultivars in the rate of cracked fruits and the ratio of maximum minute cut lengths in cherry tomato grown hydroponically.

Cultivar	Percentage of cracked fruit	The ratio of maximum minute cut lengths to fruit circumference (%)
Mini Carol	13.1 a ^z	0.70 a
Sun Cherry	21.8 b	1.18 b
Akakokko	42.6 c	1.31 c

^z Different letters indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

本実験において注射器によってが

く片付着部中央から蒸留水を注入してみたところ、自然条件下と同様な側面裂果が発生し、その裂開が最大のくさび形小き裂から発達することが確認された(第2-4図)。したがって、ミニトマトにおいてもくさび形小き裂が裂果発生の起点であったことが確認された。

がく片付着部周辺の細胞の大きさは、経線および緯線方向いずれも‘ミニキャロル’が他の2品種に比べ小さい値を示し、‘アカコッコ’が最も大きい値を示した(第2-5 a、bおよびc図、第2-2表)。一方、経線方向/緯線方向比では‘サンチェリー’が3品種の中で最も大きい値を示し、経線方向に長い細胞であることが認められた。また、赤道部においては経線および緯線方向いずれも‘サンチェリー’が小さい値を示し、逆に‘アカコッコ’が大きい値を示したが、経線方向/緯線方向比では3品種間に差異は認められなかった。

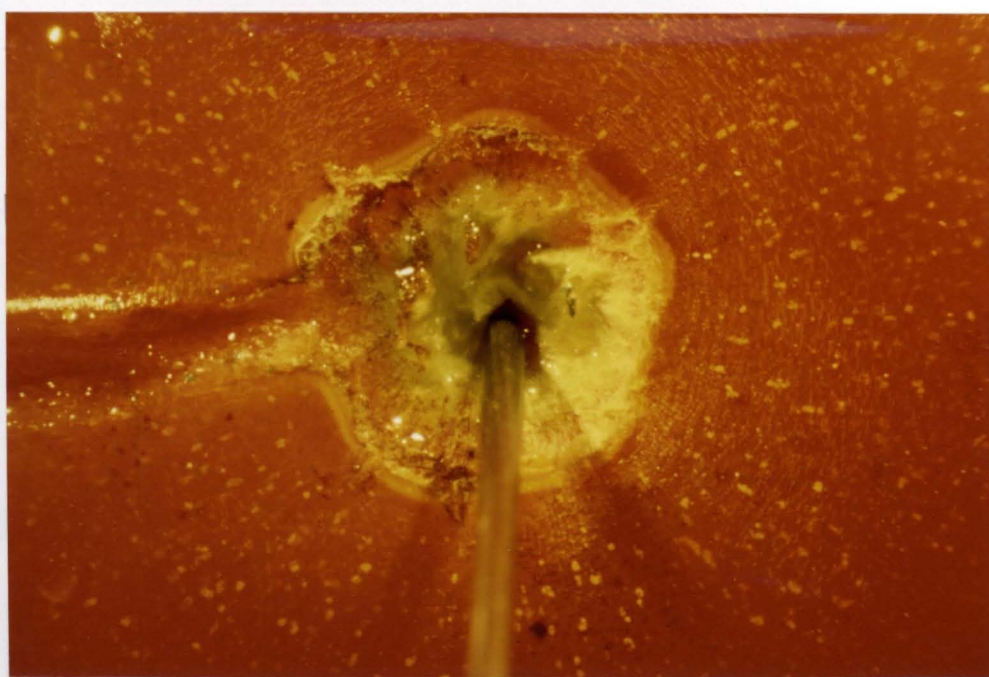
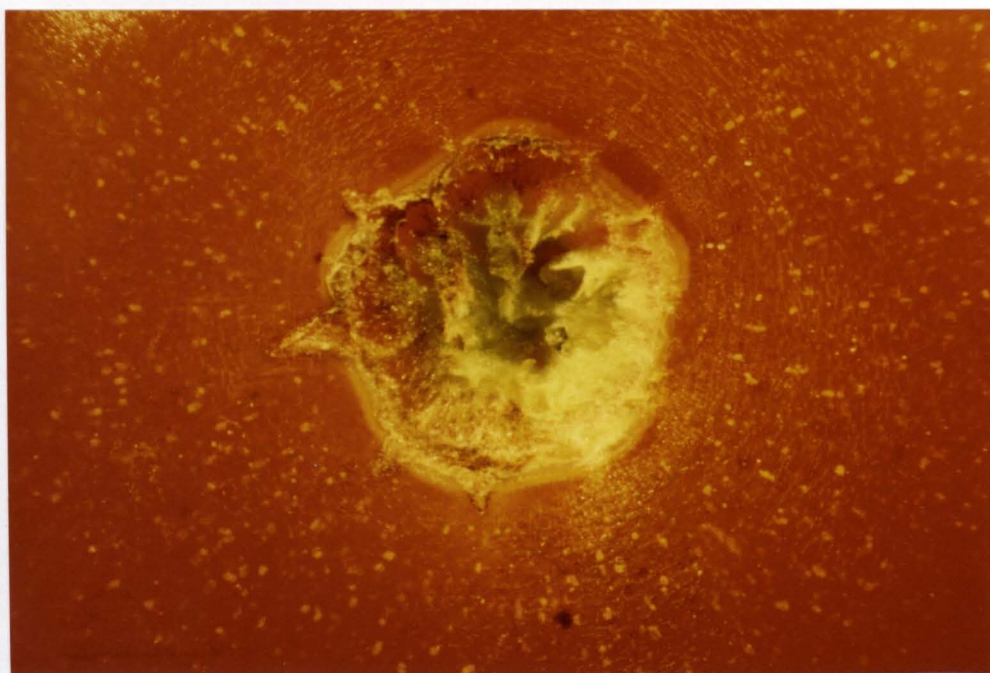


Fig. 2-4. Minute cuts (upper) and cracking (lower) of cherry tomato fruit cv. Sun Cherry by artificial cracking method.

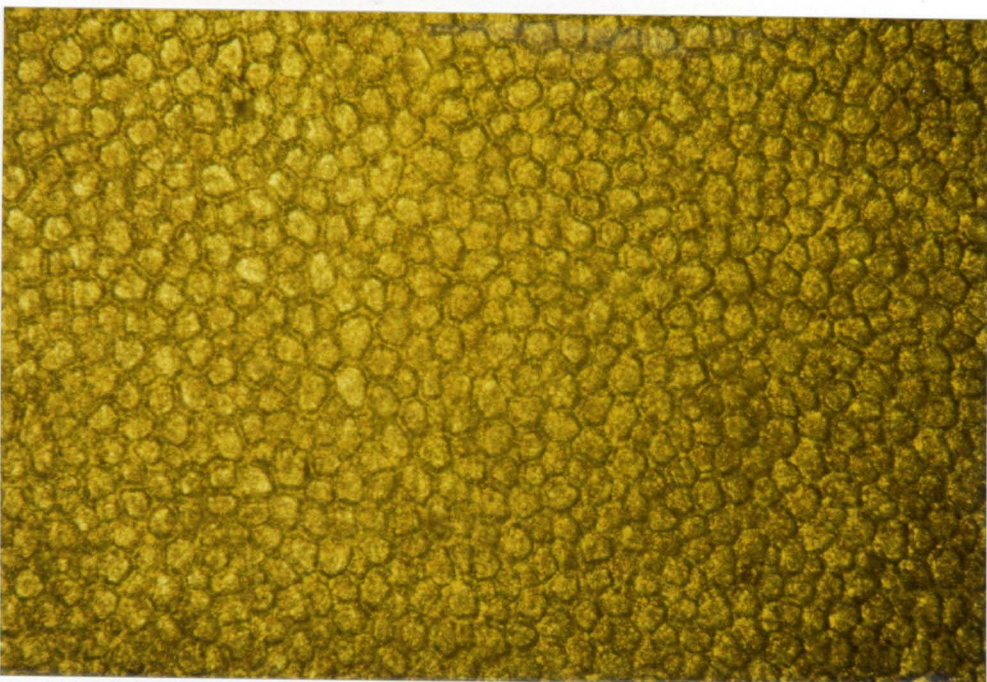
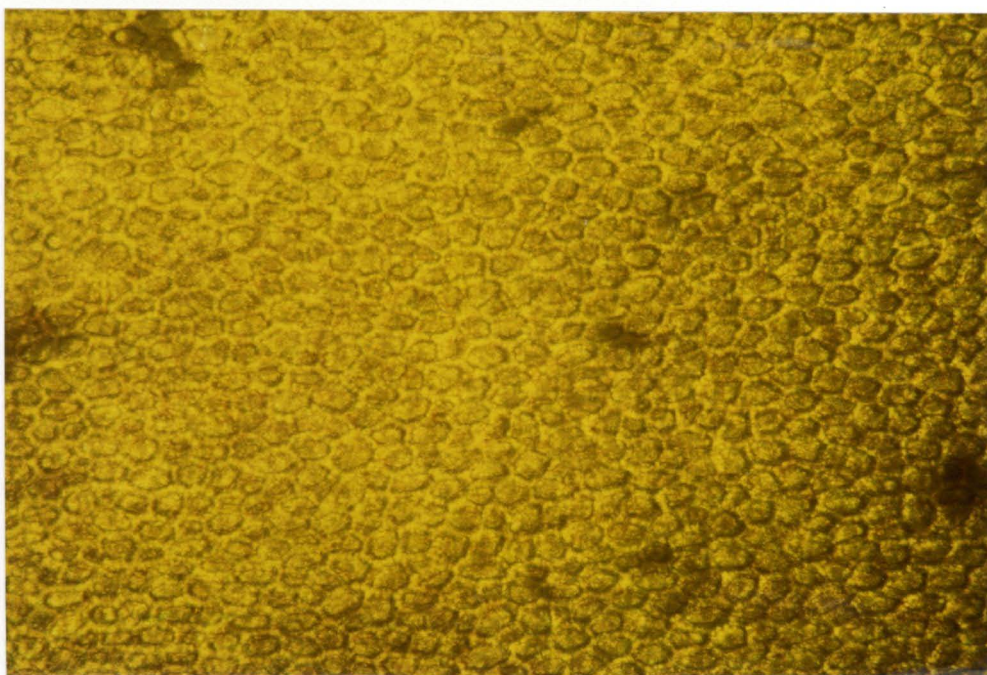


Fig. 2-5a. Epidermal cells of cherry tomato fruit cv. Mini Carol. Adjacent to calyx ($\times 25$)(left), equator ($\times 25$)(right).

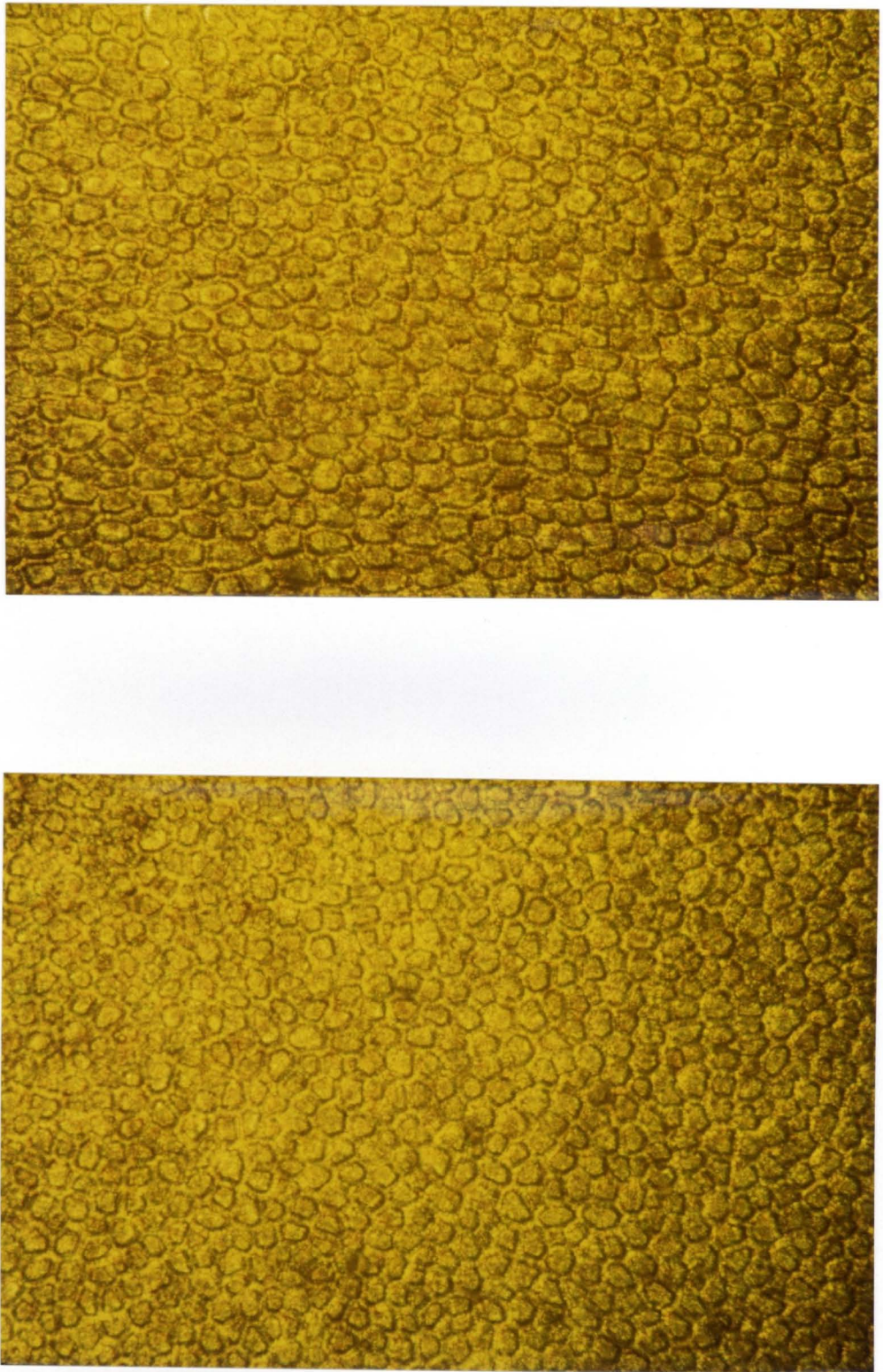


Fig. 2-5b. Epidermal cells of cherry tomato fruit cv. Sun Cherry. Adjacent to calyx ($\times 25$)(left), equator ($\times 25$)(right).

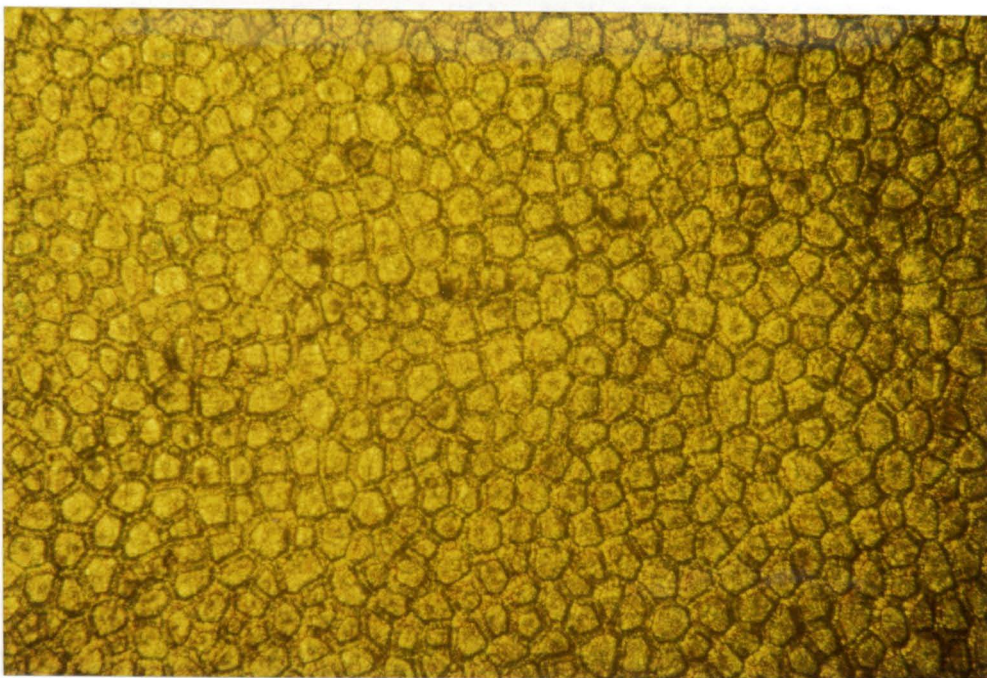
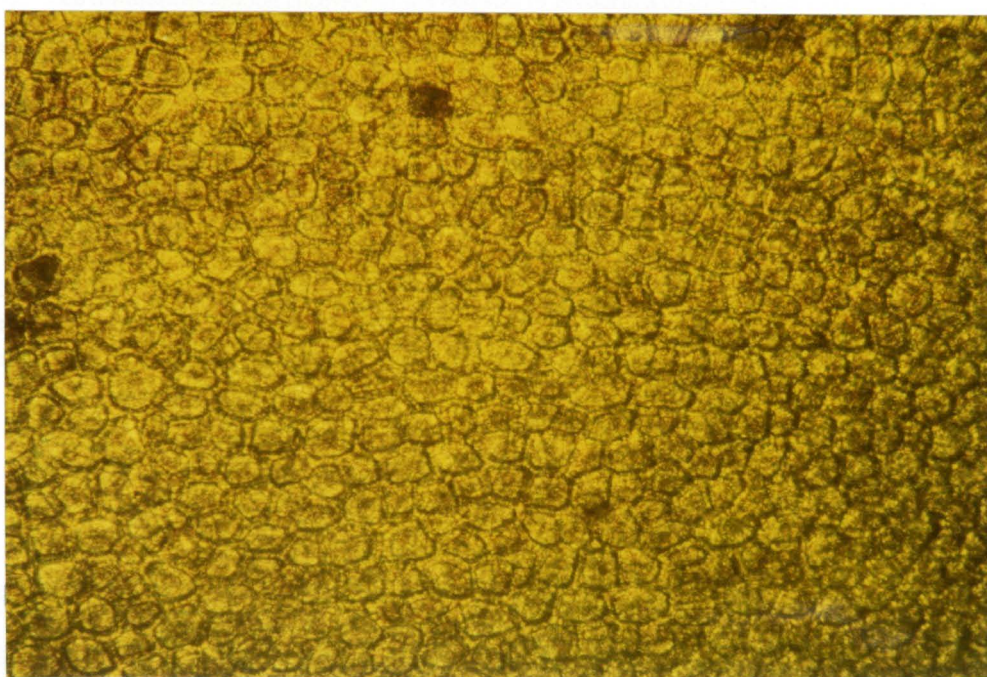


Fig. 2-5c. Epidermal cells of cherry tomato fruit cv. Akakokko. Adjacent to calyx ($\times 25$)(left), equator ($\times 25$)(right).

Table 2-2. The differences among cultivars in the cell size of epidermis in the adjacent calyx and equator of cherry tomato fruit grown hydroponically.

Cultivar	Adjacent calyx (μm)			Equator (μm)		
	Polar	Equatorial	Polar/Equatorial	Polar	Equatorial	Polar/Equatorial
Mini Carol	39 (100) ^z a ^y	33 (100) a	1.22 (100) a	35 (100) b	36 (100) a	0.96 (100)
Sun Cherry	44 (113) b	31 (94) b	1.44 (119) b	32 (93) a	35 (96) a	0.93 (97)
Akakokko	45 (117) b	42 (128) b	1.10 (90) a	38 (110) c	43 (120) b	0.88 (92)
						NS

^z Numbers in parenthesis indicate % of values of Mini Carol.

^y Different letters indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

第2節 果実における果肉細胞の大きさの差異

同一地上部環境条件下において土耕および水耕で栽培し、裂果発生率を比較した結果、土耕で栽培した場合が9.6%、水耕で栽培した場合が29.1%と水耕が高い値を示した。また、この場合、完熟果実の重量は水耕が18.8 g、土耕が15.8 gと水耕果実の方が大きいことも認められた。一方、ミニトマトにおける裂果は果実が完熟期においてのみ発生することが観察されていることから、未熟期および完熟期の果実において吸水させた場合、細胞の肥大程度が異なることが予想される。そこで、本節では土耕および水耕で栽培された完熟未裂果および裂果、ならびに未熟果および完熟果の果肉細胞の大きさを比較観察した。

第1項 土耕および水耕果実における未裂果および裂果の細胞の比較

材料および方法

本実験に供試した品種は‘サンチェリーエキストラ’であった。土耕では1/2000 aワグネルポットに床土（砂壤土：バーク堆肥＝1：1（v/v））を満たし、化成肥料（N：P₂O₅：K₂O＝2.8：3.4：2.6 Kg・a⁻¹）を施肥し、灌水はpF値が1.0～1.4となるように管理し、栽培された植物体から収穫された果実を、また水耕では前節と同様な方法で収穫された果実を、実験に供試した。なお、土耕および水耕におけるその他の栽培方法は共通であり、第1章第1節に準じた。

細胞の観察は、パラフィン切片を作成することによって行った。収穫した果

実を直ちに 10 mm 角程度にカミソリで丁寧に調整し、FAA に保存した。実験に際し、この切片を取り出し、カミソリで再度 5 mm 角程度に調整し、供試した。以下に、試料作成方法を示した。

【水洗】流水中で 24 時間以上→30、50 および 50% エタノール→80% エタノール（一晚）

【脱水・パラフィン誘導】エタノールおよび n-ブタノールを使用→n-ブタノール

【パラフィン浸漬】溶融器内（約 56℃）でパラフィン（融点 52～54℃）中に切片を浸漬

【パラフィン包埋】パラフィン塊を作成し、2 日間以上室温で乾燥

【切片の作成】木片にパラフィン塊をのせる→回転式マイクロームにより厚さ 10～20 μm の切片作成→切片をスライドガラスに Haupt 添付液により貼りつけた後、2 日以上室温で乾燥

【パラフィン溶除・透徹】キシレンおよびエタノールを使用→水洗

【染色】デラフィールドのヘマトキシリン染色液を使用

【脱水・透徹・封入】パラフィン溶除から水洗までを逆行→カナダバルサムとキシレンの等量混合液によりカバーガラスで封入（2 日以上室温で乾燥）→顕微鏡による観察

また、未熟果および完熟果の果肉細胞の大きさについては第 2 章第 1 節と同様な方法で測定した。

結果および考察

土耕で栽培された果実の細胞を第 2-6 図に、水耕で栽培された果実の細胞を第 2-7 図に示した。未裂果においては土耕より水耕で栽培された果実の果肉細胞の大きさが長さおよび幅いずれも約 40% 大きかった（第 2-3 表）。裂果における果肉細胞の肥大割合はとくに細胞の幅において土耕果実の細胞の方が 117% と水耕果実の細胞の 110% に比べて大きかった。ただし、土耕と水耕ならびに未裂果と裂果いずれにおいても果肉細胞の長さ／幅の値には有意な差異はみられなかった。また、土耕と水耕ならびに未裂果と裂果を比較した場合、表皮および表皮直下の細胞の大きさは同程度であった。

以上の結果は、水耕果実に比べ土耕果実の方が吸水しても肥大できる余地を残しており、土耕果実の方が裂果しにくいということを示唆している。

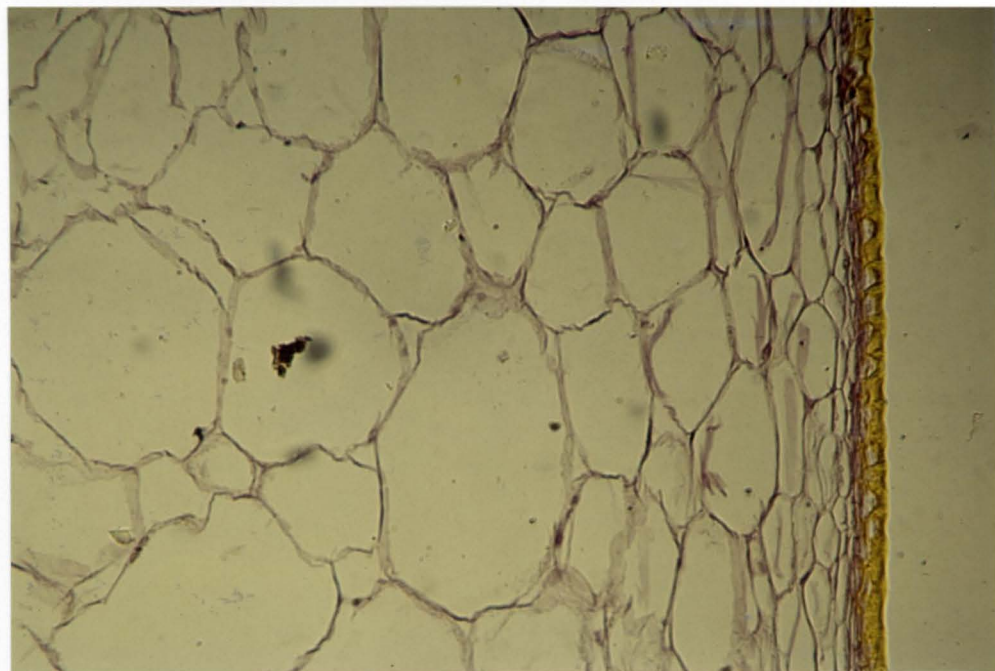
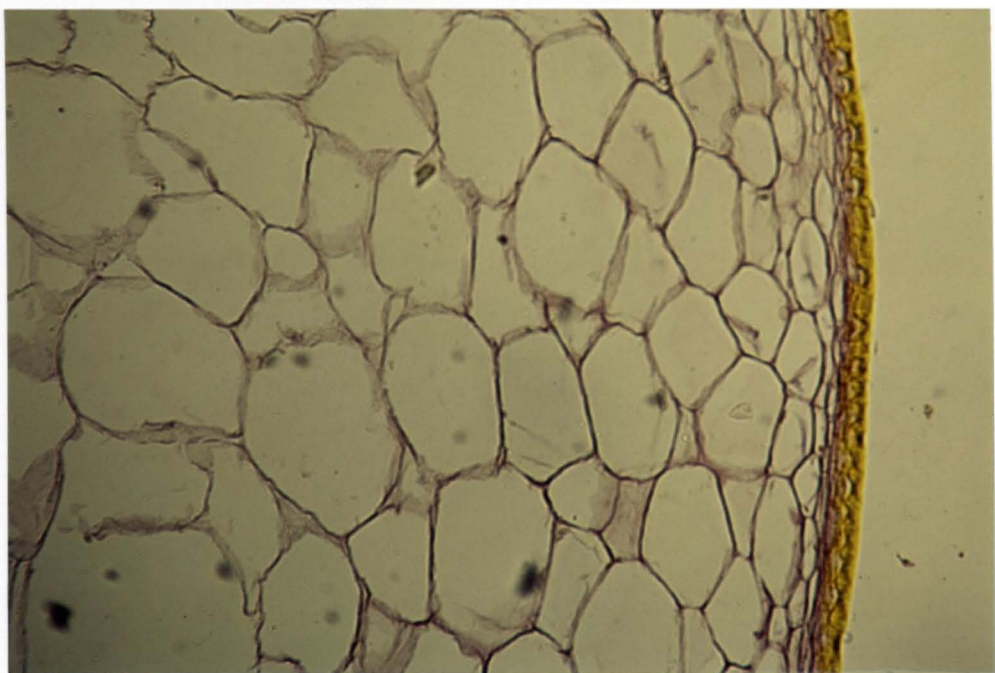


Fig.2-6. Cells of cherry tomato fruit cv. Sun Cherry Extra grown in soil. Un-cracked fruit ($\times 25$)(left), cracked fruit ($\times 25$)(right).

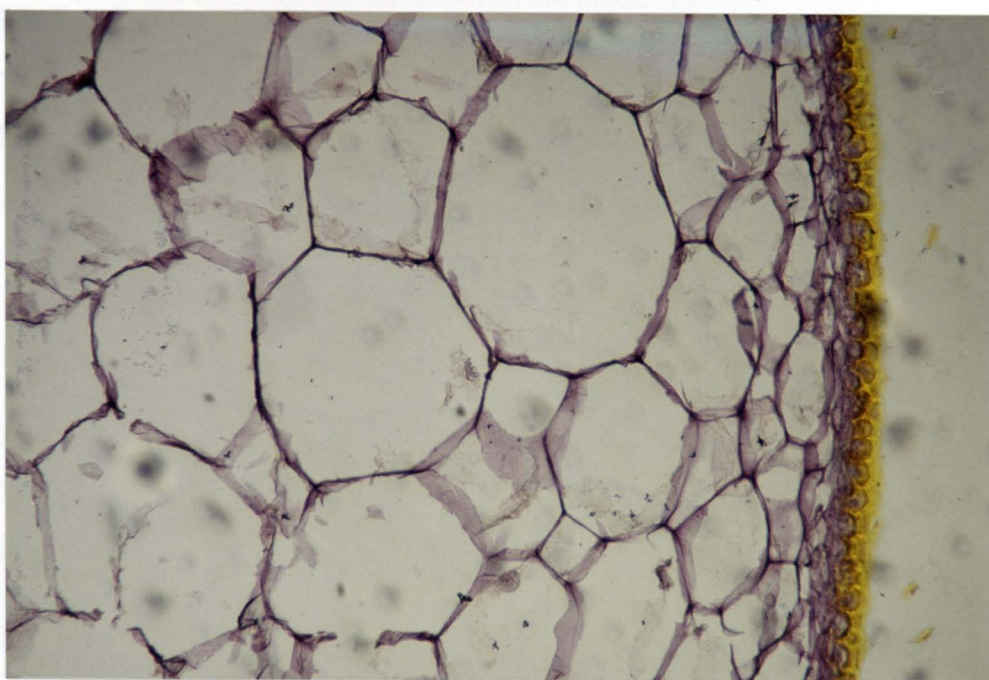
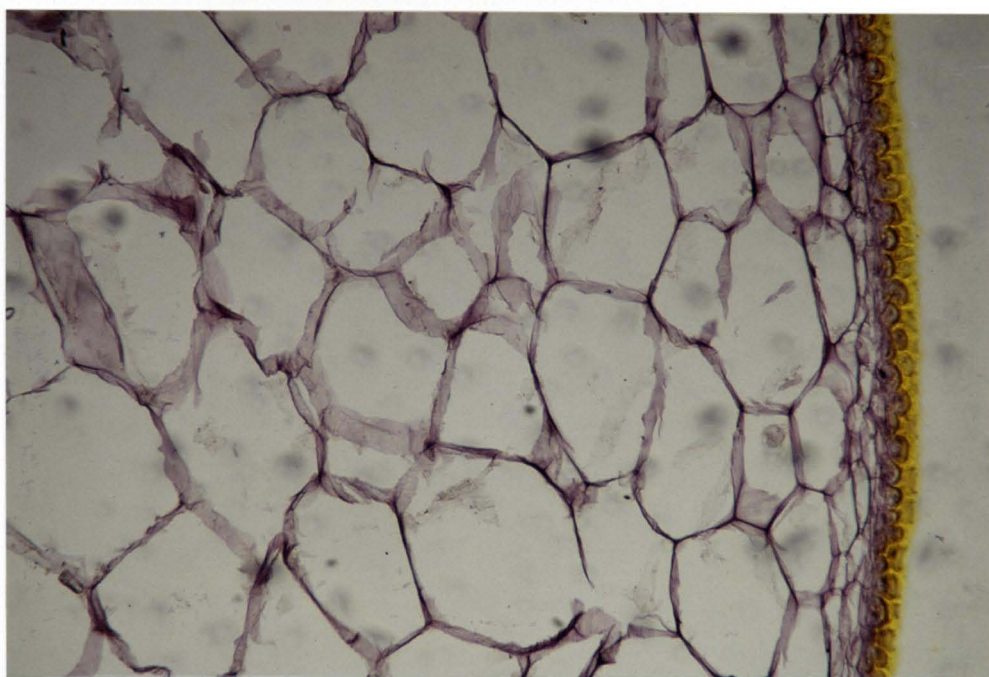


Fig. 2-7. Cells of cherry tomato fruit cv. Sun Cherry Extra grown hydroponically. Un-cracked fruit ($\times 25$)(left), cracked fruit ($\times 25$)(right).

Table 2-3. The differences of the flesh cell size of un-cracked and cracked fruits in cherry tomato cv. Sun Cherry grown in soil and hydroponically.

Culture method		Length (μ m)	Width (μ m)	Length/ width
Soil culture	Un-cracked fruit	121 (100) ^z a ^y	162 (100) a	0.75
	Cracked fruit	138 (114) b	189 (117) b	0.73
Hydroponics	Un-cracked fruit	174 (100) c	230 (100) c	0.76
	Cracked fruit	202 (116) d	253 (110) d	0.80 NS

^z Numbers in parensis indicate % of values of uncracked fruit.

^y Different letters indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

第2項 未熟果および完熟果における吸水の有無による細胞の比較

材料および方法

第1項と同様な方法で栽培された水耕果実の中から、未熟果（催色期の果実）および完熟果を収穫し、収穫直後の果実ならびに蒸留水に6時間浸漬し、十分吸水させた果実を、実験に供試した。なお、細胞の観察は、第1項と同様パラフィン切片法によって行い、果肉細胞の大きさは第2章第1節と同様な方法で調査した。

結果および考察

未熟果の細胞を第2-8図に、完熟果の細胞を第2-9図に示した。未熟果の果肉細胞は吸水により長さが10%、幅が4%肥大した（第2-4表）。一方、完熟果の果肉細胞は吸水によって長さ、幅いずれも20%程度と未熟果に比べて大きく肥大したことが認められた。ただし、未熟果と完熟果ならびに無処理果と吸水果いずれも果肉細胞の長さ／幅の値には有意な差異はみられなかった。また、いずれの果実も表皮および表皮直下の細胞の大きさは同程度であった。なお、吸水により未熟果においては裂開したものはみられなかったが、完熟果では約30%が裂開した。

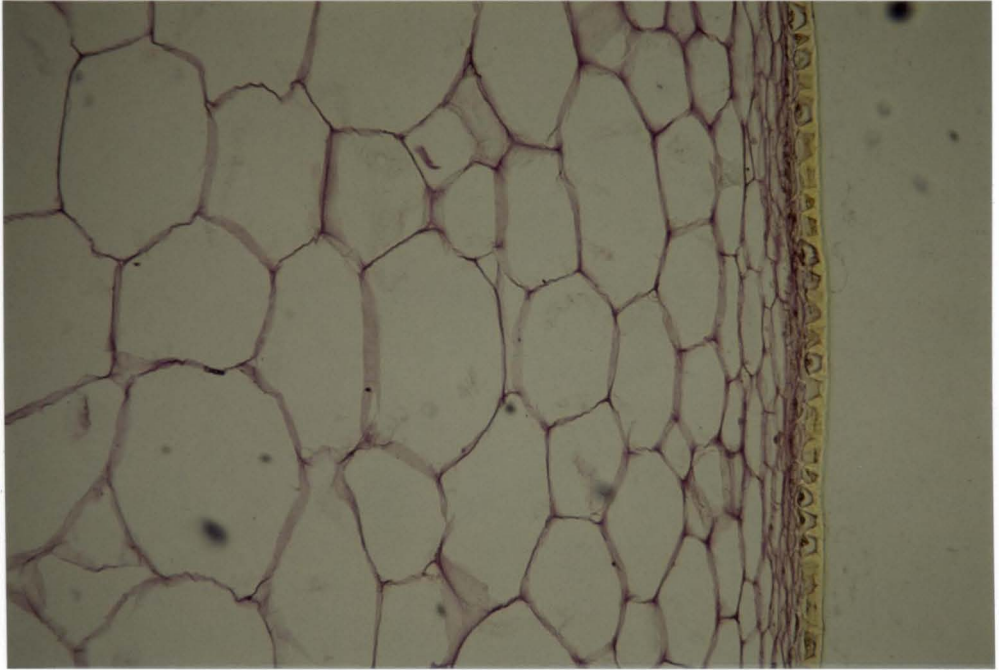


Fig. 2-8. Cells of pink mature fruit in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra grown hydroponically. Untreated fruit ($\times 25$)(left), water absorbed fruit ($\times 25$)(right).

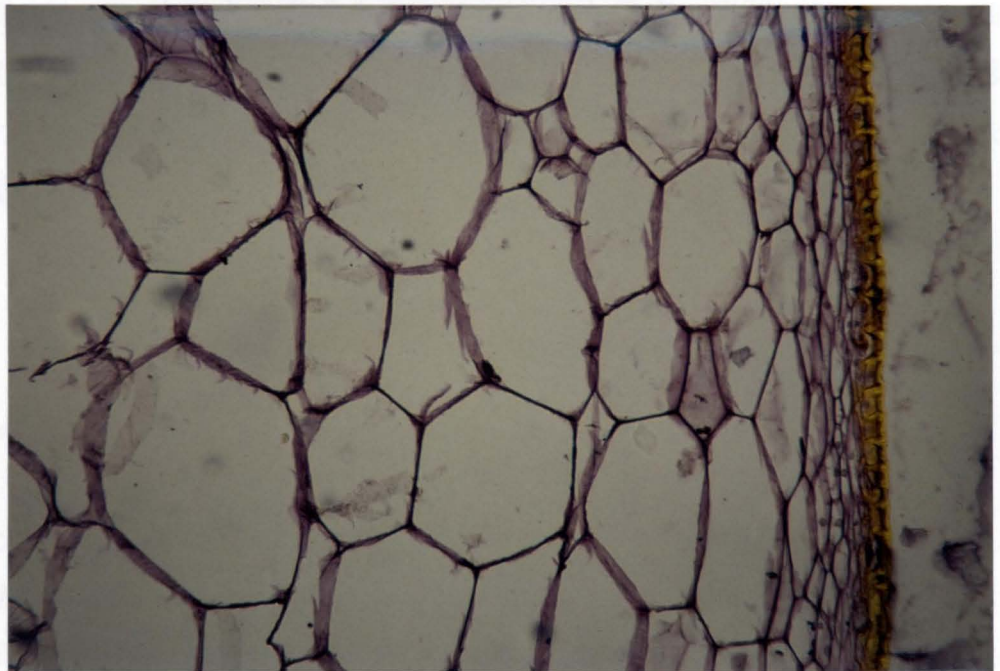
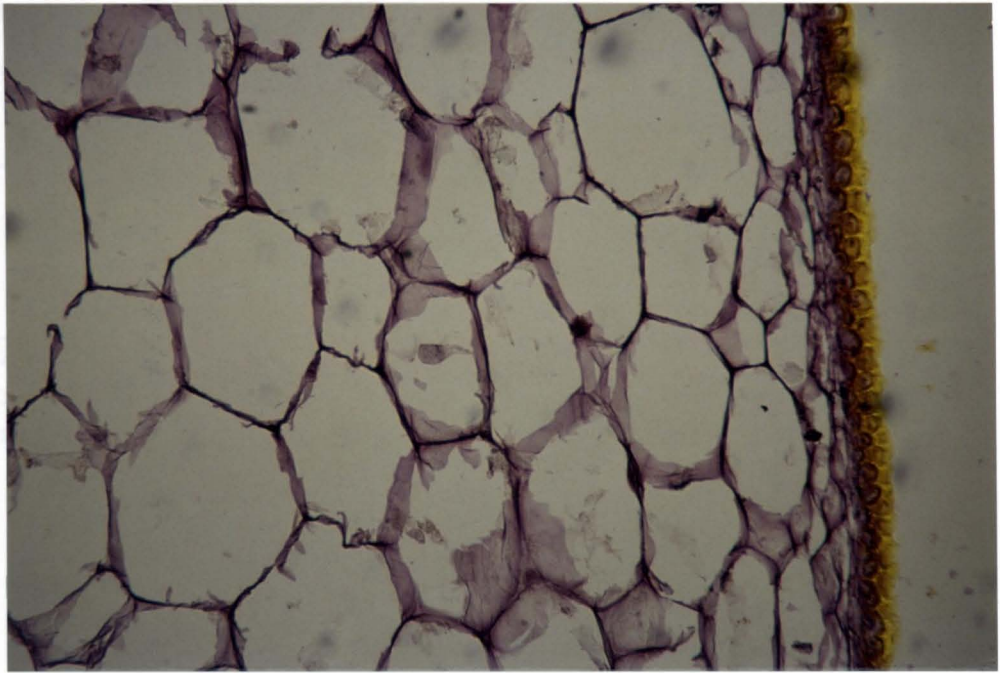


Fig. 2-9. Cells of full ripe fruit in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra grown hydroponically. Untreated fruit ($\times 25$)(left), water absorbed fruit ($\times 25$)(right).

Table 2-4. The differences of the flesh cell size of untreated and water absorbed fruits in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra grown hydroponically.

Fruit stage		Length (μ m)	Width (μ m)	Length/ width
Pink	Untreated fruit	171 (100) ^z a ^y	203 (100) a	0.86
	Water absorbed fruit	189 (110) b	211 (104) a	0.90
Full ripe	Untreated fruit	172 (100) a	196 (100) b	0.88
	Water absorbed fruit	206 (119) c	234 (120) c	0.87 NS

^z Numbers in parensis indicate % of values of untreated fruit.

^y Different letters indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

第3節 裂開部位の様相

メロンにおいては、ネット発生時に生じるき裂は果実表皮の細胞と細胞との間に生じることが観察されている（鈴木・野中、1973）。また、大型トマトにおいては、Hankinson and Rao（1979）が裂開部位の組織学的観察を行い、細胞間が分断していたことを報告した。ミニトマト果実の裂開においては、細胞が破断したものかあるいは細胞間が分離したものか、組織学的見地から確認した研究はこれまでにみられない。そこで、本節においてはパラフィン切片法および走査型電子顕微鏡によってその様相の観察を試みたものである。

第1項 パラフィン切片法による観察

材料および方法

‘サンチェリーエキストラ’を供試し、本章第1節と同様な方法で栽培し、収穫した果実の中から裂果直後のものを選定し、裂開部位を含む果実の切片を10 mm角程度にカミソリで丁寧に調整しFAAに保存した。実験に際し、この切片を取り出し、カミソリで再度5 mm角程度に調整し、供試した。本項における裂開部位の観察は第2節第1項と同様に実施した。

結果および考察

裂果部位の観察については、パラフィン切片法による写真を第2-10図に示した。第2-10図左においては裂開先端部分で表皮のみが裂開しており、表皮の細胞間が分断されていることが確認された。また、第2-10図の右図にみられるように裂開中央付近で表皮および果肉部分が裂開していた。とくに果肉部分は、多くの場合細胞と細胞が分断しており細胞が破断したものは少ないことが確認された。

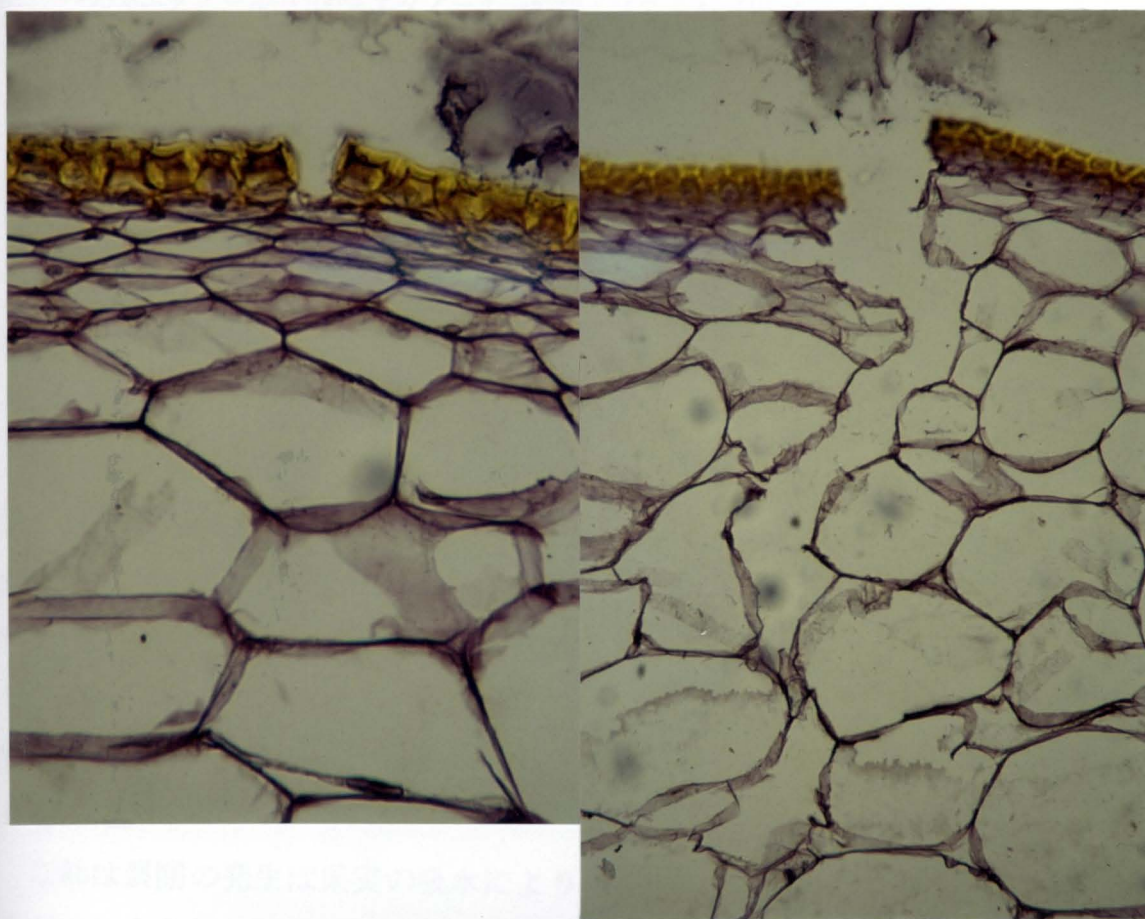


Fig. 2-10. Cells of cracked fruit in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra. Cracking of epidermis ($\times 50$) (left), cracking of epidermis and flesh ($\times 25$) (right).

第2項 走査型電子顕微鏡による観察

材料および方法

第1項と同様に調整した果実の切片を本実験に供試した。以下に、試料作成方法を示した。

【脱水】 FAA→60%エタノール→30%エタノール→3%しょ糖（4℃、24時間以上）

【前固定】 3%しょ糖で水洗→2.5%グルタルアルデヒド／3%しょ糖0.1Mリン酸buffer
→3%しょ糖0.1Mリン酸bufferで洗浄

【後固定】 1%酸化オスミウム／3%しょ糖0.1Mリン酸buffer→水洗

【脱水および酢酸イソアミル置換】 60%エタノール→70%エタノール→80%エタノール
→90%エタノール→100%エタノール→酢酸イソアミル（100%）（4℃で保存）

【臨界点乾燥】 臨界点乾燥装置（日立製、HCP-2）により果実切片を乾燥

【金蒸着】 アルミニウム製試料台に固定→イオンコーター（エイコーエンジニアリング製、IB-3）により、金（100%）を蒸着（イオンスパッタコーティング）

【検鏡および写真撮影】 走査型電子顕微鏡（日立明石製、MSS-30）により観察

結果および考察

走査型電子顕微鏡による裂開部位の写真を第2-11図に示した。第2-11図の上図は裂開部位の縦断面を、中図は裂開部位の横断面を、また下図は裂開部位を表皮側から観察したものであるが、いずれの観察においても果肉細胞が破壊されずにそのまま存在しているものが多いことが認められた。このことから、パラフィン切片法による観察と同様、裂開は主に細胞壁と細胞壁の間が分断されていることが認められ、果肉細胞自体が破断したものは少数であったことが認められた。

これは裂開の発生は果実の吸水により果肉細胞が肥大した場合、まず細胞同士が押し合うことにより物理的に弱い部分である細胞壁間が連続的に離れていくと考えられる。この場合、果実内部から表皮方向に力（フープ応力）が発生し、その力によって表皮が裂けていくものと推察される。

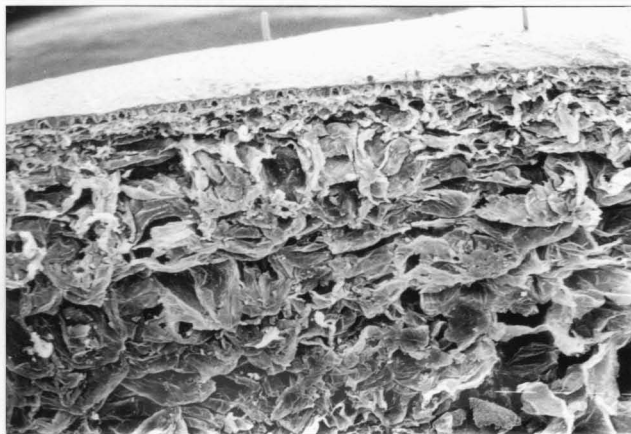


Fig. 2-11. Cell of cracked fruit in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra. Vertical section ($\times 45$) (upper), cross section ($\times 80$) (middle), overview of cracking ($\times 220$) (lower).

第4節 裂果の進行過程

これまでに大型トマトあるいはミニトマトの裂果発生の様相を、連続的に観察した報告はない。したがって、本節においては、ミニトマト果実における裂開が実際にはどの程度の時間をかけて発生するのかを明らかにするために、ビデオカメラを用いて観察を行った。

材料および方法

本実験においては第2章第1節と同様な方法で栽培した‘サンチェリー’の果実を供試した。裂果発生の観察に使用したビデオカメラは家庭用ビデオカメラ（ソニー製、TR-2）であった。

結果および考察

裂果発生の実際は第2-12a、bおよびc図に示したとおりであった。本実験でとらえた果実においては裂果発生開始が午前6時42分で、がく片付着部周囲に発生した小き裂が5 mm程度に拡大していたことが認められた。この小き裂は徐々に拡大していき、午前6時43分には7～8 mm程度のき裂となった。その後、き裂は急速に拡大し、午前6時43分20秒にはき裂が果実の赤道部付近まで至り、午前6時43分40秒には果頂部に近いところまで生じた。裂果の終了時刻は午前6時44分であり果頂部までき裂が生じており、裂果開始から終了までには約2分を要したことを示している。

以上の観察結果から、ミニトマトの裂果は早朝に数分間でに生じることが認められた。

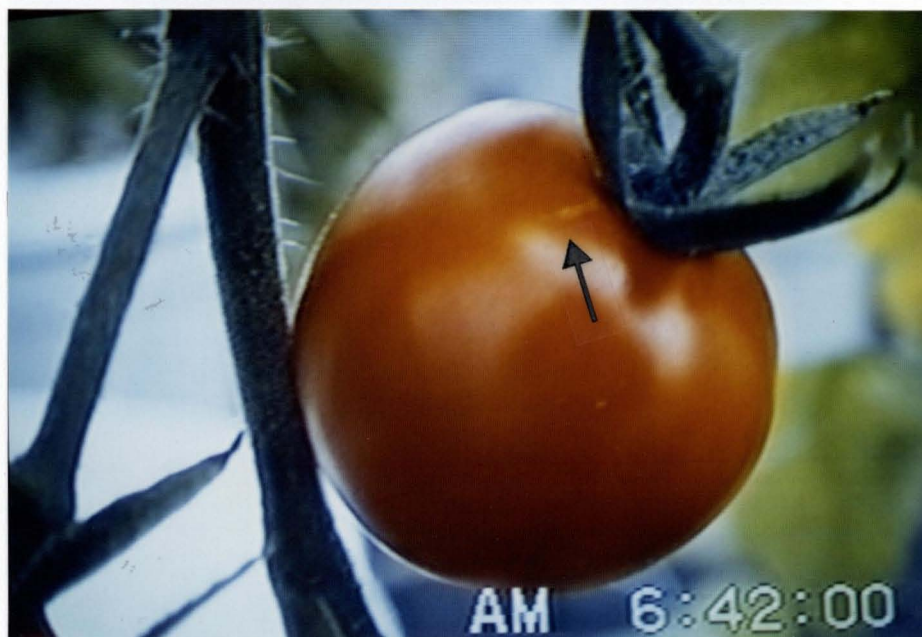


Fig. 2-12a. The occurrence of fruit cracking in cherry tomato cv. Sun Cherry. The arrow indicates a cracking point. AM6:42:00 (upper), AM 6:42:30 (lower).

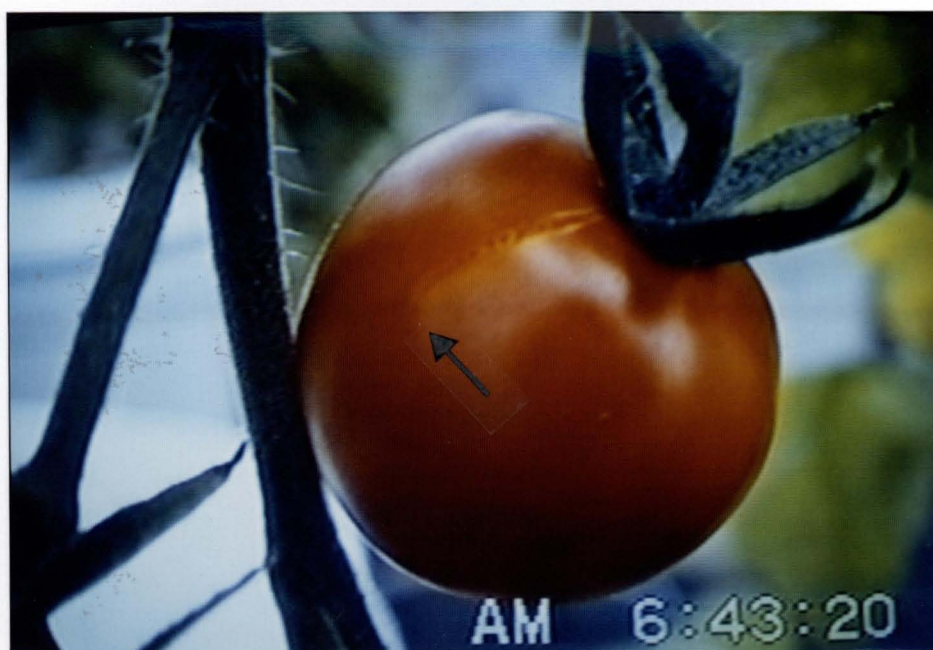
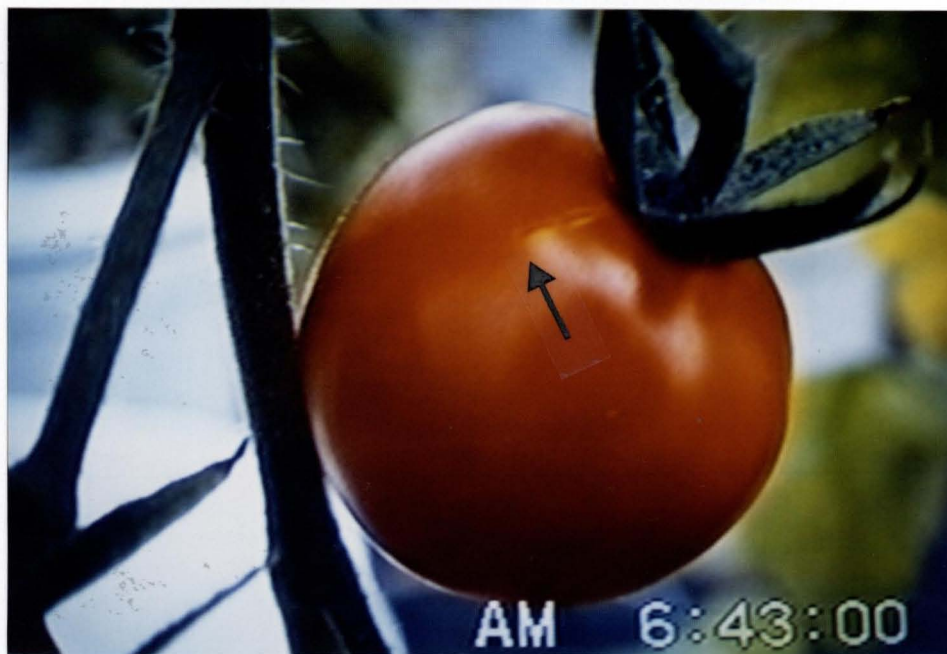


Fig. 2-12b. The occurrence of fruit cracking in cherry tomato cv. Sun Cherry. The arrow indicates a cracking point. AM6:43:00 (upper), AM 6:43:20 (lower).



Fig. 2-12c. The occurrence of fruit cracking in cherry tomato cv. Sun Cherry. The arrow indicates a cracking point. AM6:43:40 (upper), AM 6:44:00 (lower).

第5節 総合考察

これまでの研究で、大型トマトにおいては放射状裂果の起点ががく片付着部に発生するくさび形小き裂であり、その発達拡大によることが認められている（上村ら、1972）。また、側面裂果は果実表面肩部あるいは側部における小き裂が起点であるとされている。しかし、ミニトマト果実においては果実表面肩部などにおいて小き裂はみられない。本章では果実に蒸留水を注射器によって注入する人工裂開試験によって、自然条件下で生じる裂開と同様の裂開が最大のくさび形小き裂から発達することを確認した。この結果は、ミニトマトにおける側面裂果がこのくさび形小き裂を裂開の起点として生じたものであったことを示すものである。

これまでの研究において、がく片付着部におけるくさび形小き裂の発生時期が、大型トマトにおいては開花後20日目から確認された（上村ら、1972）。本実験においては、裂果発生率が比較的高い‘アカコッコ’および裂果発生率が中程度の‘サンチェリー’では小き裂の発生は、開花後2週目から確認され、大型トマトより1週間程度早いことが認められた。一方、裂果発生率が比較的低かった‘ミニキャロル’では小き裂の発生は、開花後3週目と1週間遅れて観察された。この要因は果実の肥大速度の差異あるいは果皮の硬さに差異があったことによると考えられる。‘アカコッコ’では早い時期から小き裂の数も多くみられ、かつ果実球周長に対して最大小き裂長の割合が高い品種であった。この理由としては‘アカコッコ’の果実の大きさが小さく、かつ果皮が軟らかいことによるもので、裂果が発生しやすい条件を有していたと考えられる。したがって、本実験の結果から小き裂の発生開始期およびその数の差異を調査することがミニトマト品種間における裂果発生率の多少を区別するのに有効であると考えられる。

さらに、がく片付着部周辺および果実赤道部の細胞を観察したところ、赤道部については‘ミニキャロル’および‘サンチェリー’に比べ‘アカコッコ’が大きい細胞であることが示された。一方、がく片付着部周辺の細胞については‘ミニキャロル’および‘サンチェリー’では比較的小さく密であることが認められた。逆に、‘アカコッコ’では‘ミニキャロル’に比べ大きかった。細胞密度が粗であるほど力学的に脆弱であるということから、‘アカコッコ’においては他の2品種より細胞が大きかったため果皮の強度が弱く、細胞が破

断しやすいと考えられる。これまでの実験結果から、細胞密度が粗である‘アカッコ’では果皮の硬さが比較的軟らかい品種であり、第1章における実験結果と一致するといえよう。このことは細胞が密であるほど表皮は硬く、したがって裂果の発生も少ないと考えられる。ただし、上村ら(1972)の報告によれば、がく片と接する果実基部の表皮細胞は緯線方向に展張され、これに対して小き裂は経線方向に発生したとしている。‘サンチェリー’では果実内部に力が加わった場合、がく片周辺の細胞は経線方向にやや長いため、力学的に経線方向に裂けやすく、その結果小き裂は経線方向に発生しやすいと考えられる。このことから判断して、‘ミニキャロル’に比べ‘サンチェリー’のがく片周辺の細胞は比較的破断しやすいものと推察できる。したがって、このことから‘サンチェリー’は裂果の発生がやや多くなるものと推察される。さらに、小き裂の発生の難易についてのより詳細な要因解明には、がく片付着部の表皮の硬さあるいは生育段階ごとの展張度などを測定する必要があると思われる。

土耕および水耕で得られた果実の細胞の大きさを比較した場合、未裂果においては水耕の果実が大きかった。裂果においては、土耕に比べ水耕の果実の方が吸水による細胞の肥大がわずかに小さく、少量の吸水による肥大で裂果に至ったものと考えられる。つまり、吸水した場合土耕果実の方が、細胞肥大による耐裂果性に対するキャパシティを有しており、裂果しにくいのであろうと判断された。この結果は裂果発生率が土耕に比較し水耕が高かった事実を支持するものである。また、未熟果(催色期の果実)においては吸水による細胞の肥大率が数%~10%認められた。一方、完熟果においては吸水によって細胞が約20%肥大した。両者の果実を比較した場合、未熟果では糖度も低く、すなわち浸透ポテンシャルが高いために吸水量が少なかったことが推察される。また果肉、果皮もまだ比較的硬かったことから、吸水による果実肥大の程度は10%以下と小さく、この程度の肥大では細胞間が破断されるほどの力は加わらなかったものと考えられる。

Malis-Arad et al. (1983)によれば、大型トマトの完熟期において果肉部が軟化した要因は果肉細胞における可溶性ペクチンが増加したことによると報告している。また、成熟期には可溶性ペクチンの分子量が低下した報告もある(Smith et al., 1990)。したがって、本実験の結果からも、完熟期には果肉部の細胞は軟化しており、吸水によって肥大しやすくなっており、逆に未熟期では果肉部の細胞はあまり軟化しておらず吸水による肥大も完熟期ほどみられな

いといえる。その結果、完熟期においてのみ裂果が発生すると結論づけることができる。

また、第3節においては果実の裂開部位をパラフィン切片法および走査型電子顕微鏡によって観察したが、ミニトマトの裂開は大型トマトの裂開(Hankinson and Rao, 1979)と同様に細胞自体の破断による部分は少なく、主として細胞間が分断して生じたことが認められた。これは吸水により細胞が肥大し、その圧ポテンシャルにより細胞同士が押し合い、細胞間が離れたものと推察される。これまでにメロン果実のネット発現における表皮のき裂発生は細胞間が分離した結果であるという報告(鈴木・野中、1973)があり、本実験における結果もこれと同様な結果が得られた。

ミニトマト果実の裂果の発生を連続的にとらえた報告はこれまでになく、第4節においては、ビデオカメラによりそれを実際にとらえることにできた。ビデオにとらえられた映像から、裂果の発生は午前6時42分～6時44分の約2分間で生じたことが観察された。裂開はがく片の付着部にできた微細なくさび状の小さき裂を起点として、果実内部からの圧力に対し果皮および果肉が耐えきれなくなって裂けたものと考えられる。

第6節 摘 要

ミニトマトの裂果発生の起点およびその発達について調査した。土耕および水耕で栽培された果実ならびに未熟果および完熟果の細胞の大きさを比較検討し、また裂開部位の様相を組織学的に観察した。さらに、裂開発生の実際を連続的に観察した。

1. ‘サンチェリー’、‘ミニキャロル’および‘アカコッコ’を水耕法で栽培し、開花後毎週がく片の基部に隣接した果実表皮に現れたくさび形小さき裂の数と長さを調査した。収穫時には裂果発生率を調査した。‘アカコッコ’および‘サンチェリー’では最初の小さき裂の発生は開花後2週目で、また‘ミニキャロル’では開花後3週目で観察され、その後、毎週小さき裂の数と長さは増加した。小さき裂数および裂果発生率に関しては3品種における品種間差異が確認された。すなわち、‘アカコッコ’は果実円周に対する最大小さき裂長の割合が最も大きく、他の2品種より高い裂果発生率を示した。以上の結果から、小さき裂の発生を調査することは、ミニトマトにおいて異なる品種間で裂果感受性を明

らかにするのに有効であることが示唆された。注射器で完熟果実のがく片付着部中央から蒸留水を注入したところ、最大小き裂から裂開が生じたことが認められた。小き裂の発生の難易を検討するために、表皮細胞の大きさを測定した結果、がく片付着部の細胞は、‘ミニキャロル’および‘サンチェリー’では‘アカコッコ’に比べ小さく、表皮が硬いことが示唆された。しかし、‘サンチェリー’の細胞は経線方向に長く、‘ミニキャロル’より小き裂が発生しやすいと考えられる。

2. 土耕および水耕で生産された果実において、未裂果の細胞の大きさを比較した結果、土耕に比べ水耕の果実は細胞が大きいことが認められた。両者の裂果の細胞は未裂果に比べ肥大していたが、土耕より水耕の果実の細胞の方が肥大割合は小さく、少量の吸水で裂果に至ることが推察された。また、未熟果においては、吸水によって細胞の大きさが数%~10%増加したものの、完熟果においては吸水により細胞が約20%と大きく肥大することが認められた。この結果から、裂果の発生は完熟期に生じることが裏付けられた。

3. 果実裂開部位の組織学的観察を、パラフィン切片法および走査型電子顕微鏡（SEM）によって行った。その結果、表皮および果肉部における裂開は細胞が破断したものは少なく、主に細胞間が分断して生じていることが確認された。

4. 裂果発生の実際をビデオカメラでとらえた。その結果、裂果の発生は午前6時42分~6時44分の約2分間で生じたことが観察された。

第3章 裂果発生の要因解明

第2章においては裂開発生の起点ががく片付着部周辺に発生する小き裂であったことを認め、さらに裂開部位は主として細胞間が破断していたことを確認した。ところで、実際の裂果発生に関連して大型トマトの裂果発生時間については、上村ら（1972）は午前5～6時であろうと推察し、また、山田・村瀬（1994）はミニトマトの裂果は夜間発生するという結果を報告した。しかしながら、ミニトマトの裂果がいつ（何時）頃発生し、さらになぜその時間帯に生ずるのかを検討した研究はこれまでみられない。また、裂果は果実の細胞が膨張しその内部の圧力に耐えきれなくなると仮定した場合、果実の膨張・収縮現象が生じていると推察される。

これまで行われてきた研究において、果実横径の変動量に関しては、大型トマトにおいて果実の生長量をトランスデューサーによって測定し、午前中から正午過ぎまでの生長量が大きかったことが報告されている（Peace et al., 1993a, 1993b）。同時に、昼間に日射量が大きく果実温度が高いほど果実の生長量が大きかったことも示している。また、裂果の発生と果実横径の変動量の関係についてはオウトウ‘佐藤錦’においても調査されている（山本ら、1990a）。ところで、村瀬ら（1993）はミニトマトにおいて果皮からの水分蒸散と裂果発生との関連が大きいことを報告している。上記の報告は、ほとんどが裂果発生と植物体内の水分移動との関連を示唆しているものである。

したがって、本章においては、実際に裂果が発生する時間帯を確認した上で、完熟果実横径の日変化特性および植物体内における水分移動量を測定し、裂果発生要因の解明を試みた。あわせて、果実および葉からの蒸散と裂果発生との関連を検討した。

第1節 裂果発生の時間

上村ら（1972）は大型トマトの裂果発生時間帯に関して、早朝に発生するであろうと推定しているが、実際には確認されていない。また、山田・村瀬（1994）も夜間にミニトマトの裂果発生が起こることは認めているが、具体的な時間帯までは調査していないのが実状である。

したがって、本節においては、裂果発生の要因を解明する第1段階として、

実際にミニトマトの裂果が何時頃発生するのかその時間帯を確認するために調査を行った。

材料および方法

供試品種は‘サンチェリー’とした。島根大学農学部圃場に設置されたビニールハウス内で実験を行った。播種は1993年3月5日、定植（本葉4～5枚期）は4月28日であった。栽培は1/2000aワグネルポットを使用した水耕法で行った。なお、培養液の管理は第1章第1節と、栽培方法は第2章第1節と同様であった。

収穫期（7月上旬）に未裂開の完熟果実250果を選定し、各果実にラベルを付けた後、1時間ごとに24時間にわたって裂果したかどうかを調査した。同時に、ハウス内の気温および相対湿度を測定した。

結果および考察

裂果発生は第3-1図に示したとおり、朝方に多く、とくに午前5時～7時の発生率は全裂果数のうちの約56%、午前5時～9時の発生率は約75%と高い割合を示した。しかしながら、昼間から夜間にかけては裂果の発生はほとんどみられなかった。また、裂果発生時間帯を調査した日の気温および相対湿度を第3-2

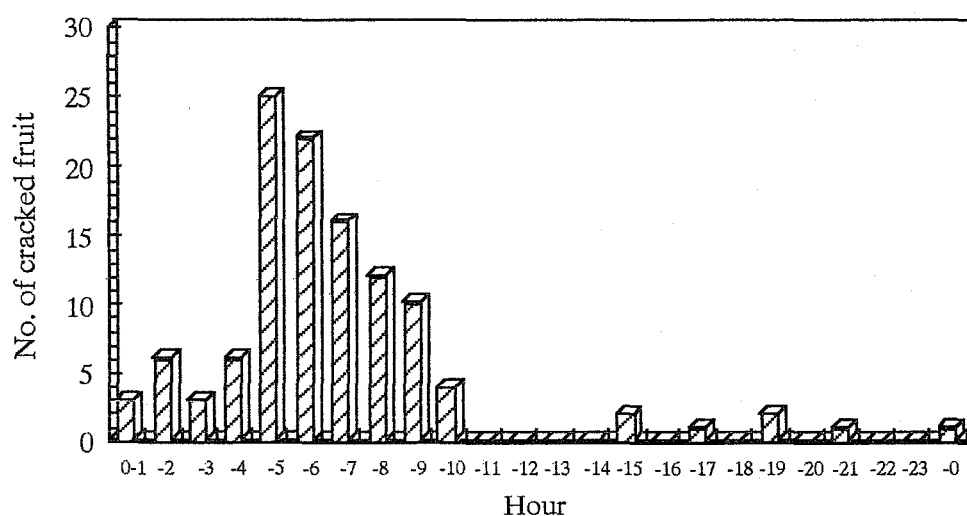


Fig. 3-1. Diurnal fluctuations of number of fruit cracking in cherry tomato cv. Sun Cherry.

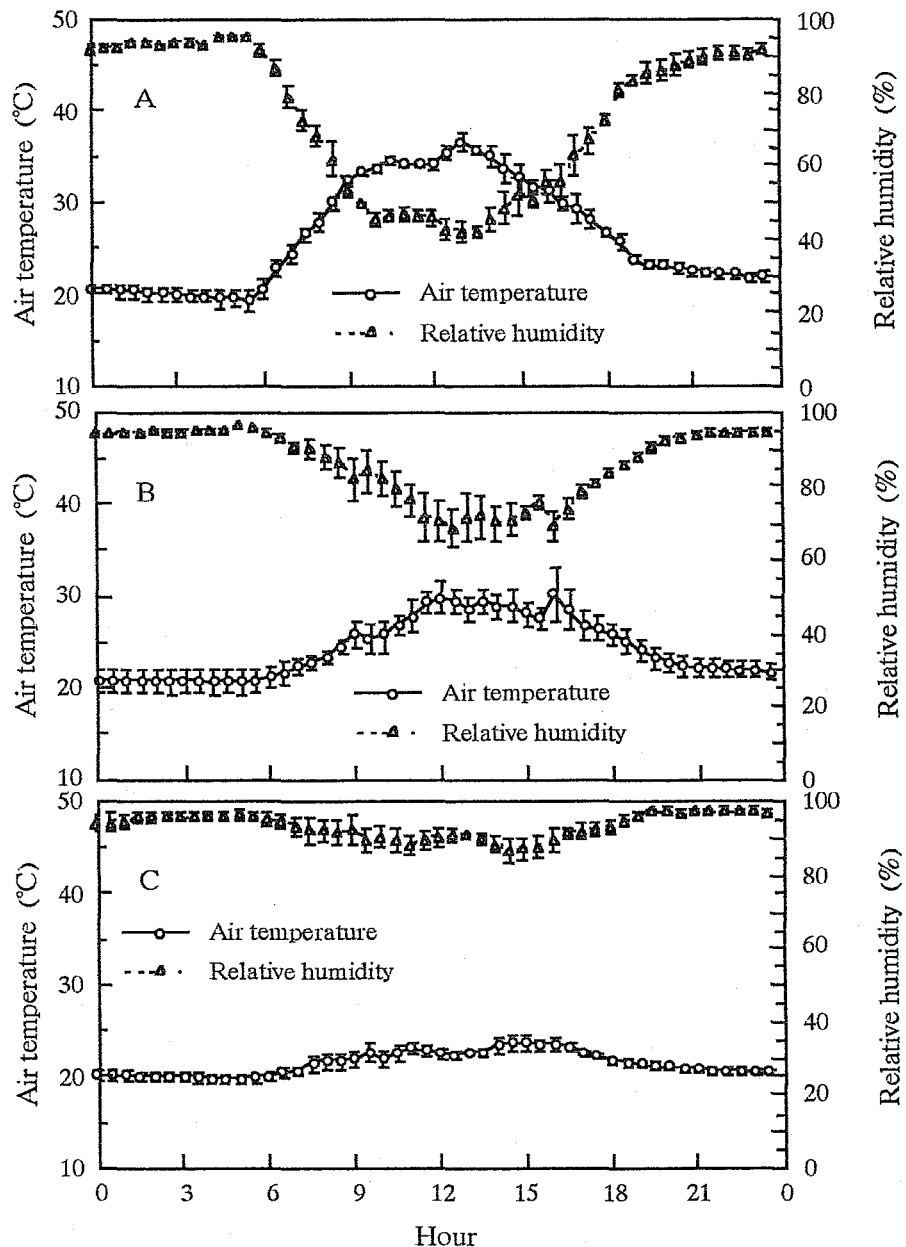


Fig. 3-2. Diurnal fluctuations of air temperature and relative humidity on sunny days (A), cloudy days (B) and rainy days (C), July, 1993. Vertical bars indicates standard error of the mean.

図に示した。この時間帯に発生した要因の一つとしては、いずれの天候においても夜間から早朝にかけて高い相対湿度が維持されたことにより、植物体とりわけ葉からの蒸散が抑制され植物体内の水分含量が過度に高まったと考えられる。その結果、早朝において果実の細胞の圧ポテンシャルが大きくなる場合が多かったと推察される。

第2節 完熟果実横径の日変化

第1節においてはミニトマトの裂果は早朝に多く発生することを確認した。ところで、Ehret et al. (1993) は日射量が多い時期に大型トマトの裂果発生が多かったと報告している。そこで、早朝に裂果が発生する要因を解明することおよび季節による裂果発生の差異を調査することを目的として、完熟果実横径の日変化特性について気温および日射量の異なる夏季および秋季において調査検討した。

なお、植物体および果実横径などの微細な変動量に対しては、非破壊的手法によって生体情報を得た研究がみられる。例えば、最近では山田・梶岡 (1991) および大石・石田 (1994) がレーザー式変異センサーを用いてミニトマトおよび大型トマトの莖径の日変動量を計測した。それ以前にはKadoya et al. (1975) は差動トランスを用いてナツダイダイの葉の厚さおよび幹径の変化を測定した。Tromp (1984) はトランスデューサーを使用することにより、リンゴの果実横径の日変化を測定し、植物体の水分状態との関係を検討した。また、山本ら (1990a) はオウトウの果実横径の変動量の測定に、非接触式変位計（ギャップセンサー）を使用して実験を行った。さらに、今井ら (1991a、1991b) はブドウの莖径および果粒横径の変異と土壌水分との関係を歪みゲージ式変位計によって計測し検討した。そこで、本節においてはこれまで行われてきた測定方法の中で、近年開発されその利用も増加してきた微少な変動量（10 μ m単位）が測定可能な可視光レーザー式変異センサーを用いて、完熟果実横径の日変化特性について調査したものである。

第1項 夏季における日変化

材料および方法

供試品種は‘サンチェリーエキストラ’とした。播種は1994年3月1日、定植（本葉4～5枚期）は4月8日であった。栽培は水耕法により、定植までの水耕培養液は園試処方0.5 u、定植後は1.0 uとした。なお、1ポット当たり1株とし、第3果房上に3葉を残して摘心した。その他の栽培法は第2章第1節と同様であった。

収穫期（7月上旬）において測定のため上果房においては測定の対象とする完熟果実1果に摘果し、その果実の横径の日変化量について可視光レーザー式変異センサ（キーエンス製、LB040）により測定した（第3-3図）。同時に、測定時のハウス内における日射量、気温および相対湿度を測定した。



Fig. 3-3. Construction of laser beam sensors.

結果および考察

完熟果実横径の日変化量、測定時の日射量、気温および相対湿度は第3-4図に示した。果実横径は早朝（午前6時頃）に最大値（約27.28 mm）を示し、すなわち午前0時に比べ約0.28 mm増加し、この時間帯に果実が膨張していることが確認できた。その後、日射量が増加し気温が高くなると、果実は収縮し、気温が最高値を示した午後2時には果実横径は約26.6 mmと最小値を示した。さらに、夕方からは再度膨張する傾向を示した。

この結果から、裂果の発生は夜間における果柄への水分移動によって朝方果実内に水分が蓄積して膨張していることが推察された。これは前節で示された結果の午前5時～7時頃に裂果する果実が多かったことを裏付けるデータになると思われる。

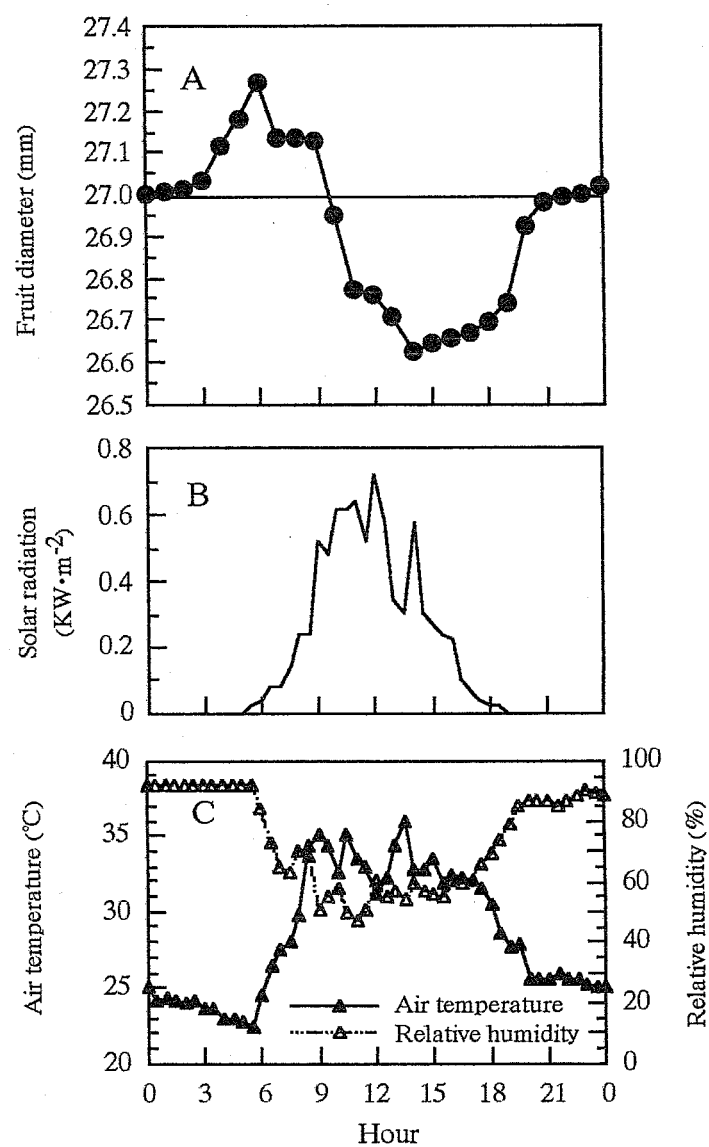


Fig. 3-4. Diurnal fluctuations of diameter of fully ripe fruit (A) in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra, solar radiation (B), air temperature and relative humidity (C) on sunny day, July, 1994.

第2項 秋季における日変化

材料および方法

供試品種および栽培方法は第3章第1節と同様であった。播種は1993年7月23日、定植は8月27日であった。収穫期（11月上中旬）に完熟果実横径の日変化量を、第1項と同様な方法で測定した。同時に、測定時のハウス内における日射量、気温および相対湿度を測定した。

結果および考察

完熟果実横径の日変化量、測定時の日射量、気温および相対湿度は第3-5図および第3-6図に示した。第3-5図Aは晴天日における果実横径の日変化である。第1項の結果と同様、深夜から早朝にかけての果実の肥大が顕著で午前0時（果実横径26.5 mm）に比べ約0.1 mmの増加がみられた。その後、日射量が大きくなり、また気温が高くなり、相対湿度が低下するにつれて、午前9時から11時において午前0時に比べ0.05 mm程度減少し、午後からはまた増加を続け翌日の午前0時においては約26.6 mmとなった。本項における測定結果では、早朝における果実の膨張量は第1項の夏季に測定した結果に比べ約1/3と小さい値を示したが、この要因は夏季に比較して日射量が小さく、気温も低かったことから、葉からの蒸散量も少なく植物体内における水分移動もやや小さくなったためであろうと考えられる。

第3-6図Aは実際に裂果が発生した場合の果実横径の日変化量を示したものである。この果実では裂果前日においては日射量が少なかったために日変化量は少なかった（測定開始時の午前0時における果実横径（26.8 mm）の+0.05 mm～-0.04 mm）が、膨張および収縮は同様のパターンを示した。その後裂果は午前8時頃に発生した。裂果発生の直前か、または裂果の発生にともない果実横径は測定開始時に比べ約0.5 mmと大きく増加し、果実が極めて大きく膨張したことが認められた。

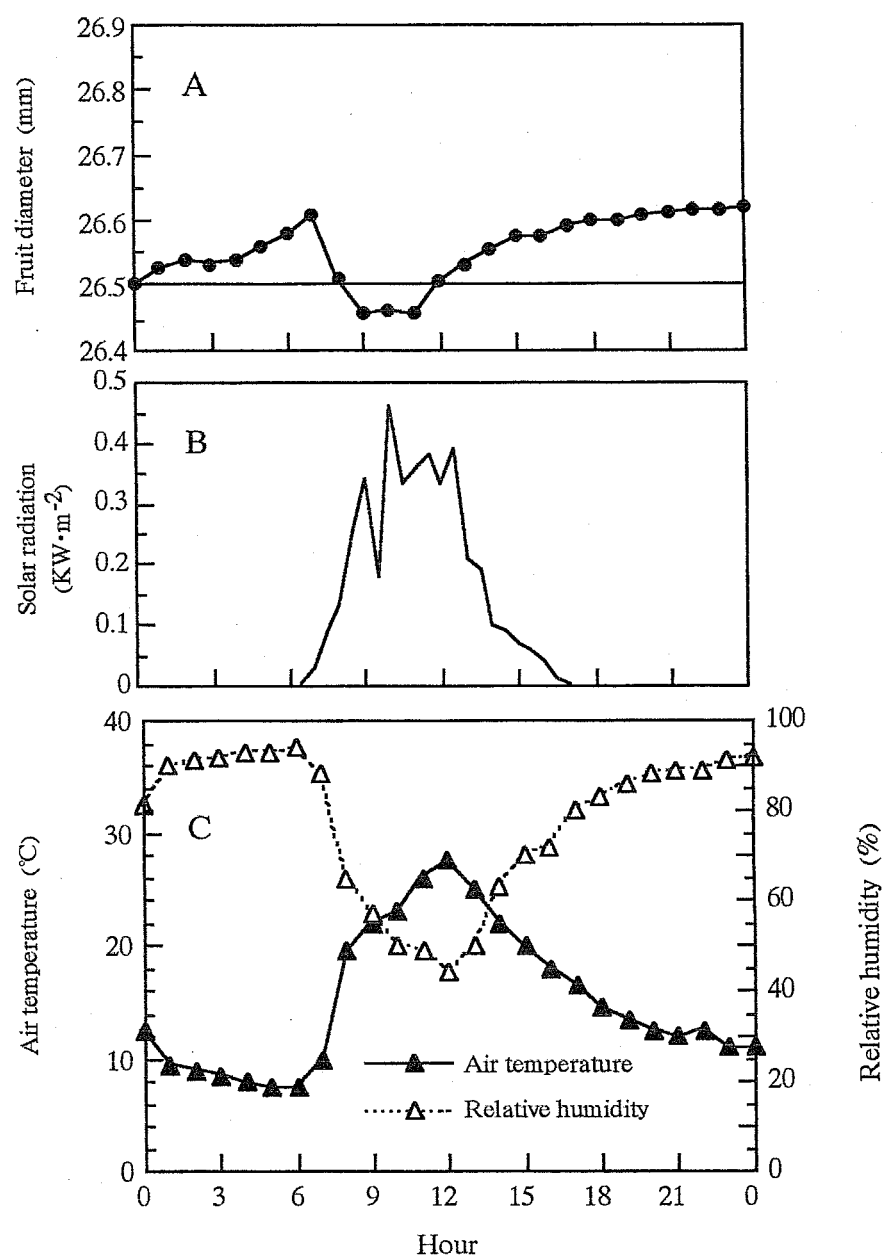


Fig. 3-5. Diurnal fluctuations of diameter of fully ripe fruit (A) in cherry tomato cv. Sun Cherry, solar radiation (B), air temperature and relative humidity (C) on sunny day, October, 1993.

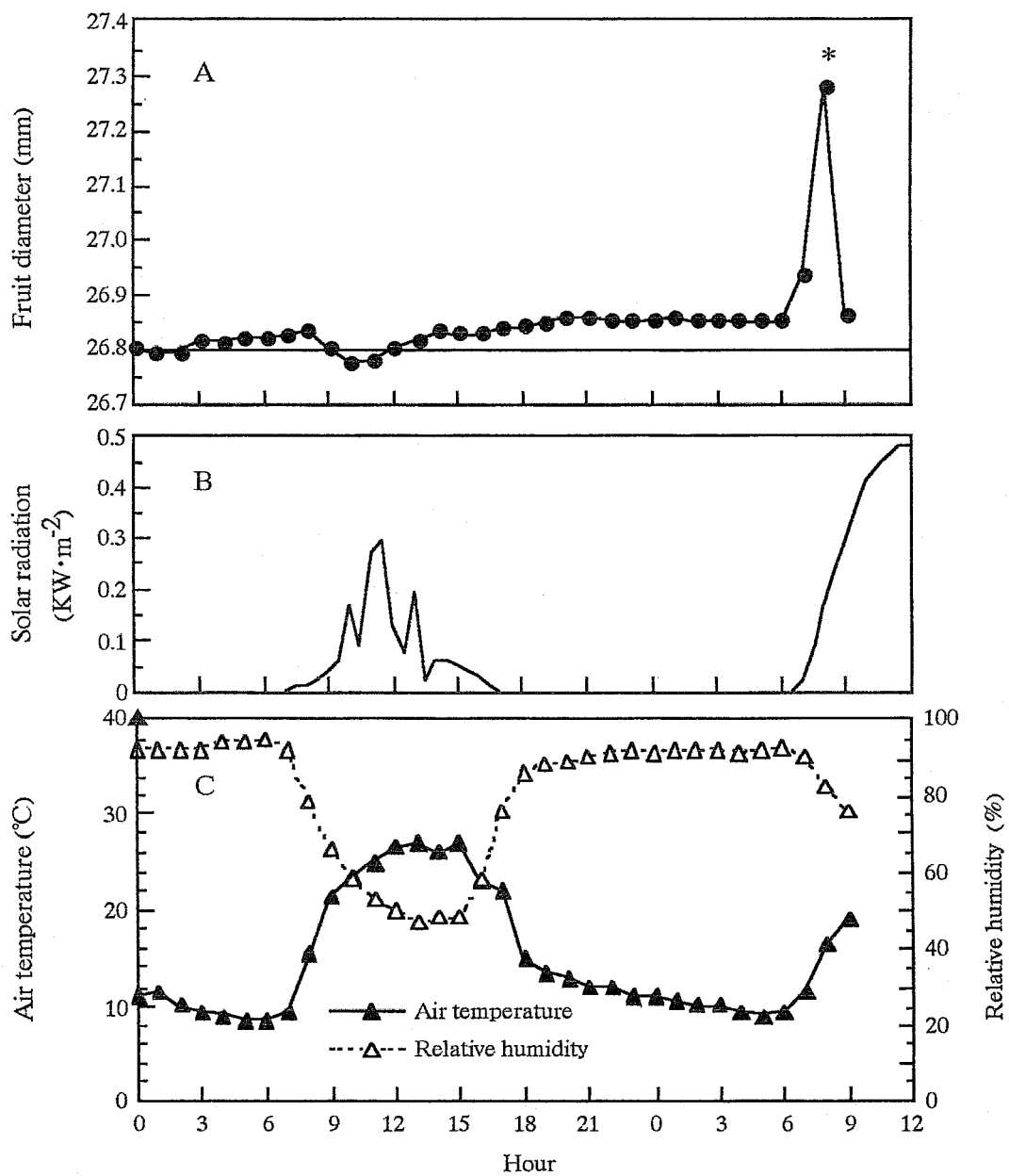


Fig. 3-6. Diurnal fluctuations of diameter of fully ripe fruit width (A) in cherry tomato cv. Sun Cherry, solar radiation (B), air temperature and relative humidity (C) on sunny day, October, 1993. The asterisk indicates the occurrence of fruit cracking.

第3節 植物体内における水分移動とその制御

本章第1節および第2節の結果から判断して、なぜ早朝に果実が膨張し裂果の発生につながるのか、その要因は植物体内における水分移動がポイントになるであろうと考えられる。植物体内における水分移動の測定は樹木への適用例が多いヒートパルス法 (Marshall, 1958) および草本植物や幼木に使用されている茎熱収支法 (桜谷, 1983; Sakuratani, 1990) などがある。実際にはヒートパルス法ではセイヨウナシの果柄および葉柄 (山本ら, 1980, 1983) およびナシ果実 (Caspari et al., 1993) など植物体内の水分移動量が測定されている。一方、茎熱収支法ではミニトマトの茎 (林ら, 1993; 山田・村瀬, 1994)、メロン果実 (朝倉, 1993; 朝倉, 1994) およびメロン茎 (糠谷, 1994) などにおいて計測された報告がみられる。

したがって、本節においては、ミニトマト植物体内における水分移動を茎熱収支法を用いて測定し、果実横径の日変化特性との関連性を検討し、裂果発生の要因解明を試みた。

第1項 水分移動の日変化

材料および方法

供試品種および栽培方法は本章第2節第1項と同様に実施した。収穫期 (7月上旬) にミニトマト植物体の茎 (第3本葉付近) の基部、果柄 (第3果房、完熟果実が6果付着) の基部および葉柄 (第3果房直上の本葉) の基部の水分移動量を30分間隔で測定した。水分移動量は、茎熱収支法により測定し、蒸散流速測定装置を使用した。この装置は、センサー部 (DYNAMAX製、ダイナゲージSGA13: 茎に使用・SGA5: 果柄および葉柄に使用) および計測システム

(CAMPBELL SCIENTIFIC製、21Xマイクロロガー) で構成され、測定されたデータはパーソナルコンピューター (NEC製、PC-9801) に転送して解析を行った。また、本センサー部の概要を下記に示す (第3-7図)。なお、センサーの取り付け方向は根部から植物体末端に向かって正 (+) 方向とした (第3-8図)。同時に、測定時のハウス内における日射量、気温および相対湿度を測定した。

ここで、本実験で使用した茎熱収支法について、桜谷 (1983) の報告を参考

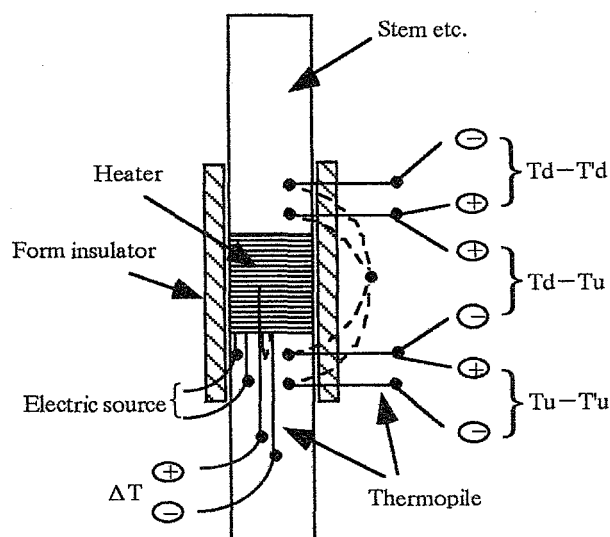


Fig. 3-7. Structure of the sensor for measuring sap flow rate in stem, peduncle and petiole.

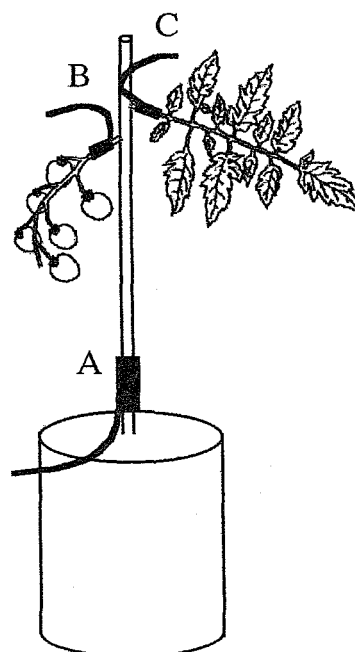


Fig. 3-8. Placement of sap flow rate sensors on stem(A), peduncle(B) and petiole(C) in cherry tomato.

にして以下に概説する。測定原理は、測定センサーを測定部位にとりつけセンサーで一定の熱量を加え暖めると、蒸散流量の多少によりその部位の温度分布、すなわち熱収支構造が大きく変化する。茎の一部に熱量 Q を与えたとき、これらの部位に成立する熱収支式は、次式で表される。

$$Q = q_f + q_u + q_d + q_s \quad (1)$$

ここで、 q_f は蒸散流によって下流（熱源の上方）に輸送される熱量、 q_u および q_d はそれぞれ伝導によって熱源の上流側および下流側に失われる熱量、 q_s は熱源表面から周囲の空気中へ失われる熱量である（単位はいずれも W ）。また、（1）式の右辺の3項はそれぞれ次式で表すことができる。

$$q_f = cF (T_d - T_u) \quad (2)$$

$$q_u = \lambda A (T_u - T'_u) / \Delta x \quad (3)$$

$$q_d = \lambda A (T_d - T'_d) / \Delta x \quad (4)$$

ここで、Fは茎内蒸散量 ($\text{g}\cdot\text{sec}^{-1}$)、 T_u および T_d はそれぞれ熱源の上流側の点 χ_2 および下流側の点 χ_3 における茎温 ($^{\circ}\text{C}$)、 T'_u および T'_d はそれぞれ χ_2 および χ_3 からの距離が $\Delta \chi$ (m) の点 χ_1 および χ_4 における茎温 ($^{\circ}\text{C}$)、 c は水の比熱 ($4.18 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$)、 λ は茎の熱伝導率 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$)、 A は茎の横断面積 (m^2) である。 λ の値として水の値に近い $0.54 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ を使うことができる。 q_s は熱源表面に付着した円筒状の熱流素子により評価できる。熱流素子の内側と外側の温度差を ΔT とすれば、以下の式となる。

$$q_s = k \Delta T \quad (5)$$

ここで、 k は実験的に求められる熱流素子の定数 ($\text{W}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$) である。上の各式から、蒸散流量 F ($\text{g}\cdot\text{sec}^{-1}$) は次式のようになる。

$$F = \frac{Q - 0.54A \frac{((T_u - T'_u) + (T_d - T'_d))}{\Delta \chi} - k \Delta T}{4.18 (T_d - T_u)} \quad (6)$$

すなわち、植物茎内の蒸散流量は、測定部位に熱量 Q を与えておき温度差 ($T_u - T'_u$)、 $(T_d - T'_d)$ 、 $(T_d - T_u)$ および ΔT を測定することによって求めることが可能である。熱流素子の定数 k は、 $F = 0$ の時の各温度差の測定値から次式によって求められる。本実験においては、測定終了後センサーをとりつけた茎、果柄および葉柄を切断した後、定数 k を決定した。

$$k = \frac{Q - 0.54A \frac{((T_u - T'_u) + (T_d - T'_d))}{\Delta \chi}}{\Delta T} \quad (7)$$

結果および考察

植物体内の水分移動量の測定結果は第3-9図に示した。茎における水分移動量は午後6時頃から朝の午前9時頃までは数 $\text{g}\cdot\text{Hr}^{-1}$ 程度の値が示され、夜間においてもわずかながら水分移動があることが認められた。その後、日射量が多く

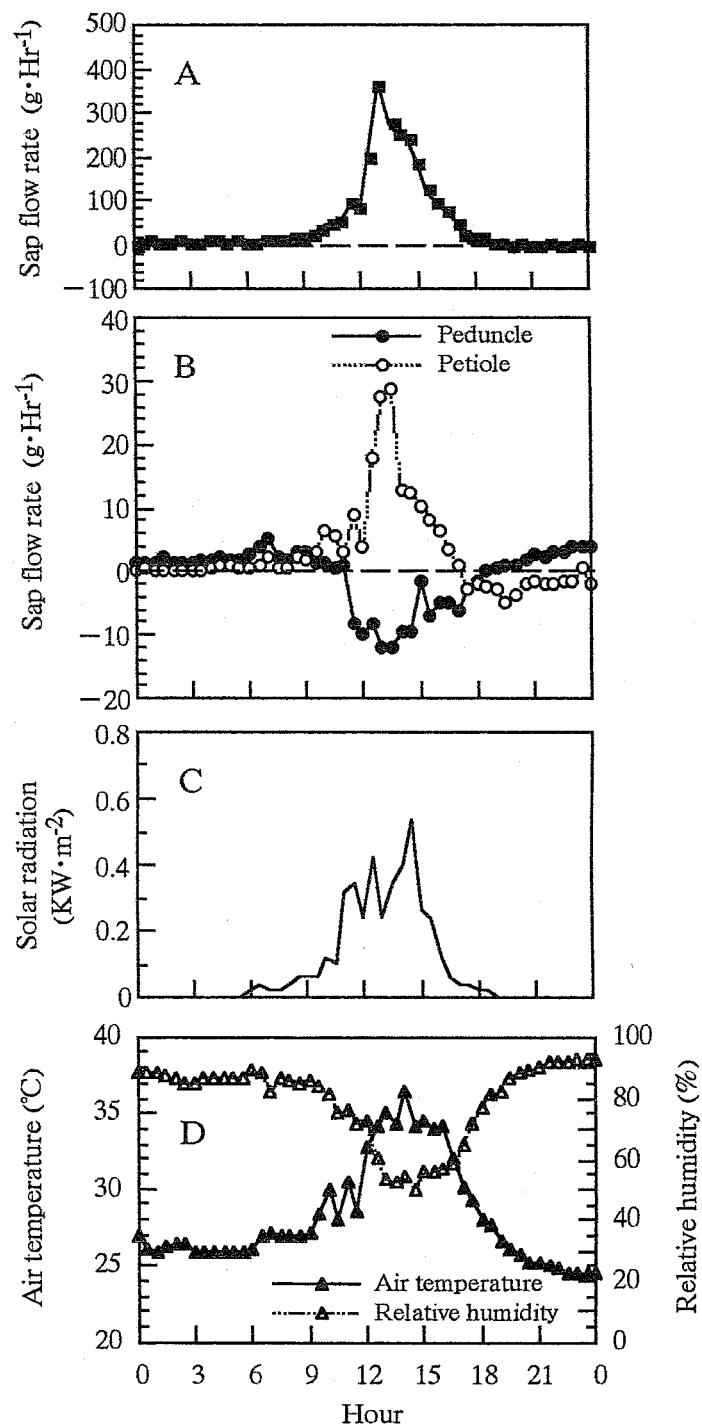


Fig. 3-9. Diurnal fluctuations of sap flow rate in main stem (A), peduncle (B), petiole (B) in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra, and of solar radiation (C), air temperature and relative humidity (D) on sunny day, July, 1994.

なるにしたがい増加し、昼間（午後1時頃）に最大となり、約 $380\text{ g}\cdot\text{Hr}^{-1}$ となった。また、葉柄の水分移動は茎の水分移動のパターンと類似した動きがみられ、午後1時頃に最大値（約 $30\text{ g}\cdot\text{Hr}^{-1}$ ）を示したが、午後6時頃から深夜にかけては負の値を示した。一方、果柄の水分移動は昼間負の値を示し、果実から流出したが、夜間から早朝には正の値を示し、果実へ流入していることを示した。なかでも、午前7時頃には最大値 $5\text{ g}\cdot\text{Hr}^{-1}$ を示し、裂果発生時間帯に水分流入量の増加がみられた。

以上の結果より、ミニトマトの裂果は昼間における果実からの水の流出とそれに引き続く夜間から早朝の果実への水の流入により、早朝に果実内の水分含量が高くなった結果発生するものであろうと判断された。

第2項 暗期光照射による水分移動の制御

材料および方法

供試品種および栽培方法は第1項と同様に実施した。播種は1995年2月24日、定植は4月15日であった。収穫開始後、暗期（午前1～5時）白色蛍光灯を用いて弱光照射区（600 lux）、強光照射区（6000 lux）および対照区（無処理）の3処理区を設定した。

調査は、裂果発生率（各処理の完熟果実30～50果にラベルを付け、毎日裂果したかどうか調査した）ならびに光照射処理中である午前4時および蒸散量が最大値を示す午後1時における葉の気孔における水蒸気拡散抵抗を拡散型ポロメーター（LI-COR製、LI-1600）により、強光照射区における第2果房の果柄およびその直上葉の葉柄の水分移動速度を茎熱収支法により蒸散流速測定装置（第1項と同様）を用いて測定した。また、午後11時、午前4時および午前7時における完熟果実および葉の水ポテンシャルを測定した。なお、果実および葉の水ポテンシャルの測定は、Klepper and Ceccato（1969）、Barrs et al.

（1970）、岩永ら（1987）および荒木（1993）の報告を参考にし、サンプリング後20秒以内にプレッシャー・チャンバー（Soil Moisture Equipment 製、PLANT WATER STATUS CONSOLE Model 3005）によって測定を行った。なお、プレッシャー・チャンバーのプレススピードは、荒木・後藤（1987）の報告を参考にし、 $0.03\text{ MPa}\cdot\text{sec}^{-1}$ とした。なお、プレッシャー・チャンバー測定

のために供試された果実および葉の部位を第3-10図に示した。本実験において測定した果実および葉の水ポテンシャルはBoyer (1969) の報告にしたがって算出した。



Fig. 3-10. Cut position (-----) of fruit (left) and leaf (right) applied to pressure chamber.
A: From 4 to 12 weeks after anthesis
B: 2 weeks after anthesis.

結果および考察

裂果発生率は強光照射区で約4%となり、対照区の40%と大きく低下した(第3-11図)。一方、弱光照射区では対照区に比べやや低下する傾向がみられたものの、強光照射区ほど顕著ではなかった。強光照射区における果柄の水分移動量は第3-9図と比較した場合、処理時間中低下したことが認められた(第3-12図)。逆に、葉柄の水分移動量は増加傾向にあった。

この要因としては光照射中に葉の拡散抵抗が小さくなり(第3-13図)、すなわち蒸散が生じ、植物体内から水分が減少し、果実への流入が抑制され、その結果葉の水ポテンシャルが低下した(第3-14図)ことによるものであろうと考えられた。

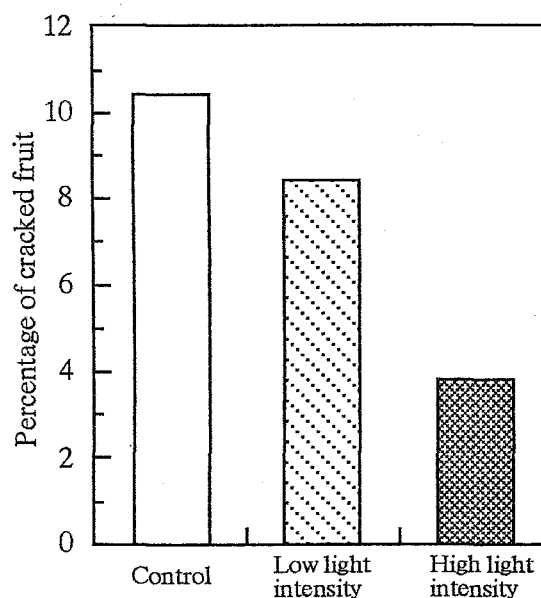


Fig. 3-11. Effect of light treatment at night on the rate of fruit cracking in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra.

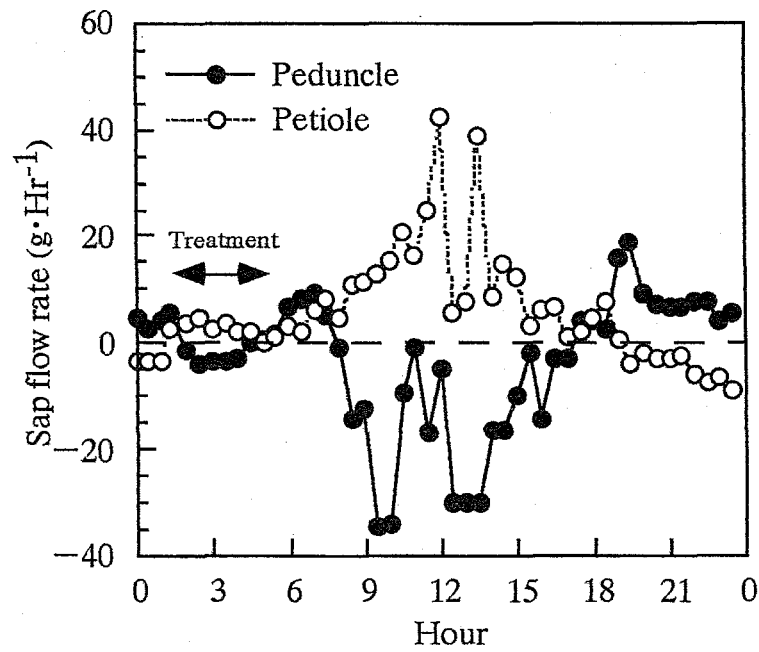


Fig. 3-12. Effect of high light intensity treatment on diurnal fluctuations of sap flow rate in peduncle and petiole of cherry tomato cv. Sun Cherry Extra on sunny day, July, 1995.

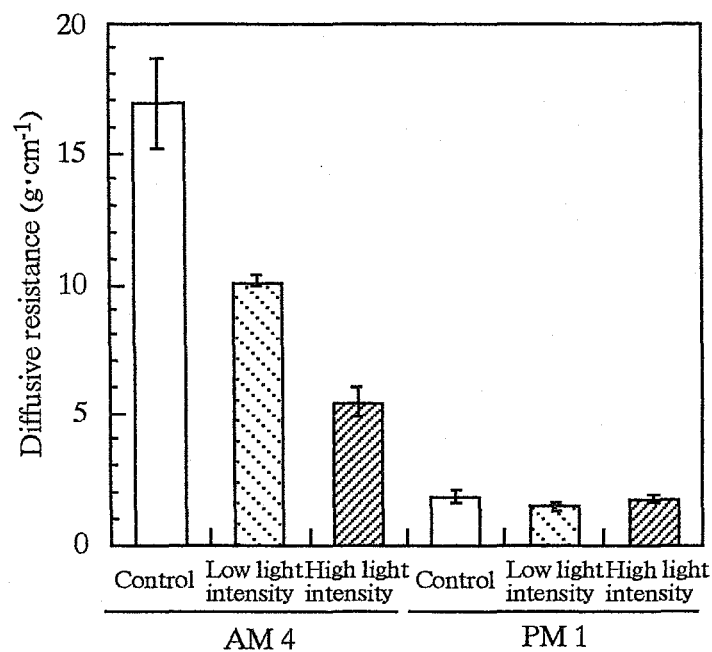


Fig. 3-13. Effect of light treatment at night on diffusive resistance in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra. Vertical bars indicate standard error of the mean.

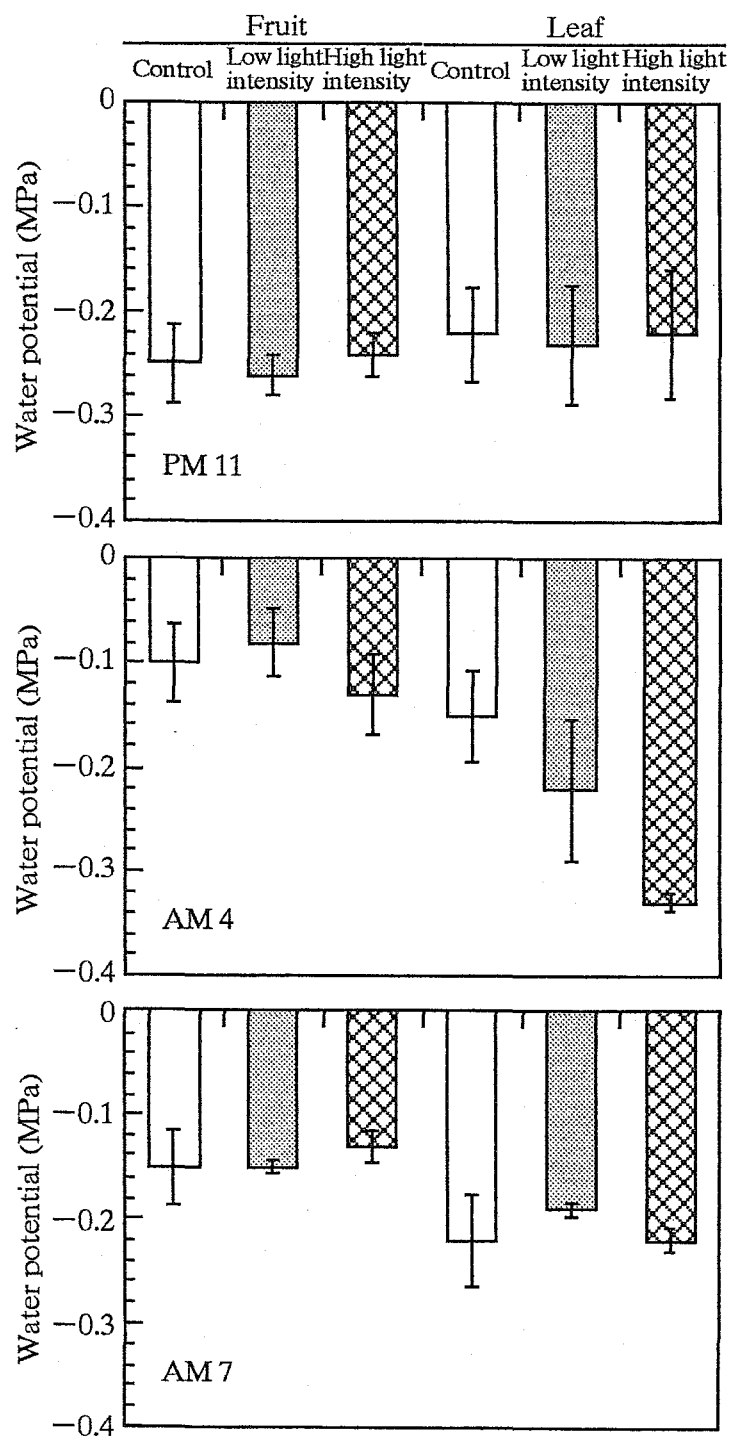


Fig. 3-14. Effect of light treatment on water potential of fruit and leaf in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra. Vertical bars indicate standard error of the mean.

第4節 果実および葉からの蒸散と裂果発生

これまで（本章第1、2および3節）の実験結果から、夜間から早朝において植物体内とくに果実への水分移動により果実が膨張し、早朝に裂果が発生することを確認した。植物体内の水分移動は主として葉からの蒸散に依存していると考えられる。しかし、蒸散は葉からのみならず果実表皮からも報告されている（村瀬、1991、1993）。

したがって、本節においては、葉および果実における蒸散速度の日変化を測定した。また、果実における水分蒸散経路を決定するために果皮あるいは（および）がく片からの蒸散を人為的に抑制することにより、裂果発生がどのように変化するのかを調査した。

第1項 果実および葉における蒸散速度の日変化

材料および方法

供試品種および栽培方法は本章第3節と同様であった。果実および葉の蒸散速度は重量法（牛島、1981）によって測定した。測定は、晴天日の午前5時～午後11時において3時間ごとに行い、果実は第3果房の完熟果実を、葉（葉身）は第3果房付近の小葉を供試した。果実および葉は切り取ってすぐに切り口に不透水性グリス（ダイキン工業製、ダイフロングリス）を塗布した後、秤量し、植物体付近に静置した。切断5分後、再度秤量した。秤量終了後、果実については縦径および横径を測定し、その平均値から果実を球形と仮定して表面積を算出した。葉については、カラスキャナ（エプソン製、GT6000）で読み込んだ後、パーソナルコンピュータ（アップル製、Macintosh IIvx）により画像解析ソフト（NIH Image）を用いて葉面積を測定した。

これらの数値から、以下の式によって蒸散速度Tを算出した。

$$T = T' \times \frac{60}{z} \times \frac{100}{A} = \frac{6 \times 10^3 T'}{zA}$$

なお、2回の測定の重量差をT' g、測定間隔をz min.、表面積および葉面積を

A cm²とする。

結果および考察

葉の蒸散速度は早朝より次第に増加し、午前11時において約 $0.9 \text{ g H}_2\text{O} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{Hr}^{-1}$ と1日のうちで最高値を示した(第3-15図)。夜間においては $0.2 \text{ g H}_2\text{O} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{Hr}^{-1}$ 以下に低下した。一方、果実の蒸散速度は葉の蒸散速度と比較した場合類似した推移を示したが、1/10~1/20と極めて小さい値を示し、最高値は午後2時において約 $0.05 \text{ g H}_2\text{O} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{Hr}^{-1}$ であった。

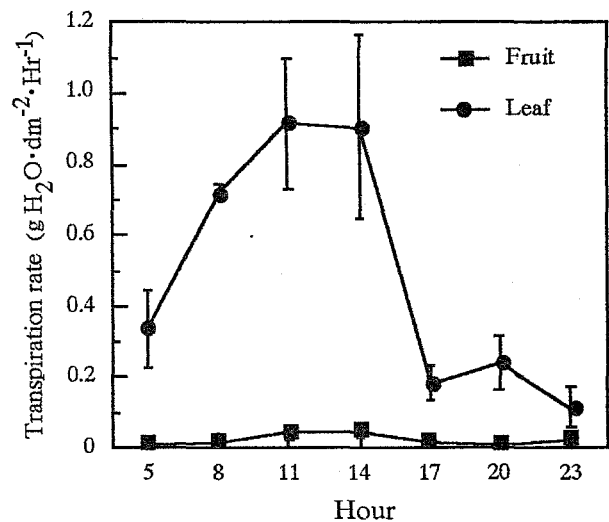


Fig. 3-15. Diurnal fluctuations of transpiration rate in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra on sunny day, October, 1994. Vertical bars indicate standard error of the mean.

第2項 果実およびがく片における水分蒸散の差異

材料および方法

供試品種および栽培方法は第4節第1項と同様であった。収穫期(11月上中旬)に未裂開の完熟果実の不透水性グリス(ダイキン工業製、ダイフロングリス)を第3-16図に示したように、がく片(小果柄を含む)、果実表皮およびその両者に塗布し、水分の透過を防止した。なお、1処理当

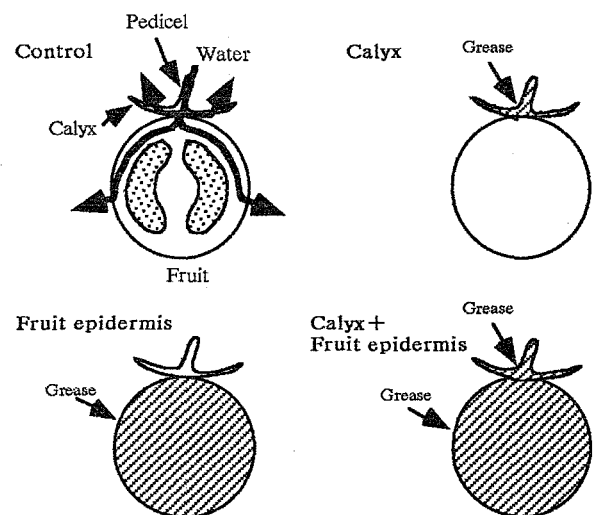


Fig. 3-16. Treatments of grease paste and possible water flow in cherry tomato fruit.

たり20果を供試した。その後、7日間にわたり毎日一定時刻（午前10時頃）に処理果実が裂開したかどうかを記録した。

結果および考察

対照区と比較した場合、果実表皮塗布区および表皮+がく片塗布区においては有意に裂果の発生が早くなった（第3-17図）。一方、がく片塗布区においては対照区とほぼ同様な時期に裂果の発生がみられた。

この結果から、第1項と同様に果実においてはその表皮からの蒸散があることが認められた。また、がく片からの蒸散はミニトマトの裂果発生に対しては大きな影響を与えなかったといえる。

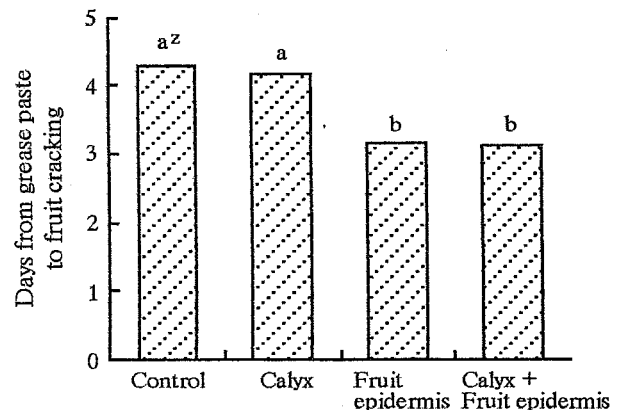


Fig. 3-17. Fruit cracking affected by grease paste treatments to different tissue of cherry tomato cv. Sun Cherry.

^z Different letters indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

第5節 総合考察

ミニトマトの裂果発生時間帯が早朝午前5時～7時に多かったことが確認された。本章においては、なぜこの時間帯に裂果の発生が多かったのかそのメカニズムを解明しようとしたものである。

まず気象要因としては、第1節で示したように、いずれの天候においても午前5時～7時は1日のうちで最も気温が低下し、相対湿度が高く維持される時間帯であり、葉からの蒸散量も少なく、植物体内とくに果実において水分含量が高まりやすい条件に置かれていたといえる。このような条件下では果実の水ポテンシャルが高いことが多く、そのため果実の圧ポテンシャルが上昇しやすい状態であったといえる。村瀬ら（1993）も、果実周囲の水ポテンシャルが高

い（高湿度条件）ほど蒸散が抑制され、果実の膨張により果皮にフープ応力が発生し、その応力が果皮の最大引張り強度を越えた場合に裂果が発生しやすいと報告している。そして、果実が膨張する要因は果実内部に流入する水分であろうと考えられる。

この場合、果実の膨張あるいは収縮がみられるかどうかを第2節において調査した。その結果、裂果が多く発生する時間帯には果実が膨張し、その後日射量が大きくなるにつれて昼間には収縮し夕方から再度膨張する傾向にあることが確認された。トマト完熟果実の膨張と収縮の変動パターンはこれまでにほとんど研究はみられないが、リンゴ果実では暗期に膨張し明期に収縮するという本実験と同様な傾向が報告されている（Tromp、1984）。また、大型トマトの茎（大石・石田、1994）およびブドウの茎（今井、1991a、1991b）においてもミニトマト果実と類似した結果が報告されている。さらに気温が高く、日射量が多い夏季ほど変動量は大きかった。この結果は植物によるイオンと水の吸収は日射量の影響を受ける（Moorby、1994）ということからも、高温期ほど植物体内の水分移動量が大きく変動したと考えられる。ただし、季節（気温）の違いによる果実横径の日変化量の差異が直接裂果発生の多少と関係しているとは認め難く、この点に関してはさらに検討する必要があると思われる。これらの結果から、多くの果実の日変化は植物体内の水分移動によって制御され、その実際の変動量については果実の種類、季節あるいは栽培条件などにより変動するものの、ほぼ共通した動きをするものと考えられる。

次に、裂果が発生する時間帯に果実が膨張あるいは収縮する要因をとらえるために、植物体内の水分移動量を測定した。その結果は、第3節で示したように茎の水分移動量は日射量が多くなるにつれて増加したが、夜間においてもわずかに認められた。茎における水分移動量の日変化は、大型トマト（林ら、1993）、ミニトマト（山田・村瀬、1994）およびメロン（朝倉、1993；糠谷、1994）と同様な結果を示した。その中で、山田・村瀬（1994）はミニトマトにおいて夜間における茎の水分移動量はわずかながら存在したことに着目し、植物体は根圏に水分があれば吸収し、植物体から空気中に放出できないためにこれが裂果の発生に結びついていると述べている。葉柄の水分移動量も茎の変動パターンと類似していたが、夜間には茎と異なり負の値を示し、葉から流出したことを示唆した。果柄においては昼間には負の値を示し、果実から水分が流出したことを示したが、夜間から早朝には正の値を示し果実に流入したことを

示した。とくに午前7時頃には最大値約 $5 \text{ g} \cdot \text{Hr}^{-1}$ を示した。上記の結果から、果実へ流入した水分は葉からの転流量だけでは説明がつかず、夜間根からの吸水は果実へ移動しているものではないかと推察される。山本ら（1980）はセイヨウナシにおいてヒートパルス法によって果柄および葉柄における水分移動率を測定したが、その結果昼間果柄から葉柄への水分移動ならびに夜間葉柄から果柄への（脱水的）水分移動をとらえた。また、朝倉（1994）もメロンにおいて昼間果実の水分移動速度が負の値すなわち果実から水分が流出していることを示し、夜間は正の値を示したことを報告している。本実験の水分移動のパターンはこれらの結果と類似した結果が得られたが、とくに早朝における果柄の水分移動量が最大値を示したことは、裂果の発生に大きく関与していることを示唆した。上述した果柄における水分移動の変動は第2節で測定した果実横径の膨張あるいは収縮の変化と直接的に連動していることが認められた。したがって、夜間から早朝における果実への水の流入が果実を膨張させ、その膨張に果実は耐えきれなくなった場合に裂果に至るものと考えられる。

この結果から考えて、夜間に光を照射し、葉からの蒸散を促し植物体内の水分を減少させ果実への水分流入を抑制させた場合、裂果の発生が低減するのではないかと考え、実験を行った。夜間6000 lux程度の光を照射した場合、気孔がやや開き（蒸散が生じ）、植物体内から水分が減少し、それにより果柄における水分移動量が減少して果実への水分流入が減少し、葉の水ポテンシャルが低下した結果、裂果の発生が対照区の半分以下に減少したことが認められた。ただし、600 lux程度の光ではこのような効果はみられず、強制的に蒸散させる必要があると思われる。これらの結果から、植物体内の水分を夜間減少させることおよび果実への水分流入を抑制することは、ミニトマトの裂果発生の低減には極めて有効であることが確認された。

また、第4節においては、果実および葉からの蒸散量と裂果発生との関連について検討したものである。葉からの蒸散は当然行われているが、果実表皮からの蒸散も葉の $1/10 \sim 1/20$ とごく微量ではあるが存在することが確認された。この結果から、果実と葉の蒸散速度の差異は極めて大きい、裂果の発生に対しては果実からの蒸散量が問題になる可能性があると考えられる。果実表皮からの蒸散はクチクラ蒸散であると推察され、その量も小さいものであるが、裂果の発生に対しては果実表皮からの蒸散を促進させることが望まれると村瀬ら（1994）は考察している。

また、果実表皮にグリスを塗布した場合、裂果が発生しやすくなったことから、果実表皮からの蒸散があることを裏付けたといえる。この結果はグリスにより果実表皮からの水分流出が抑制され果実の圧ポテンシャルが高まった結果裂果に至ったものと考察している山田・村瀬（1994）の報告を支持するものである。また、穂波ら（1991）はミニトマトにおいて果実周囲の水ポテンシャルと果実内の水ポテンシャルが近づいた場合、果実の水分移動のバランスが崩れ、果実内に水分が増加し裂果が発生すると結論づけている。したがって、表皮にグリスを塗布した場合果皮からの蒸散が抑制され、果実内の水分含量が高まり裂果が発生しやすいものと考えられる。

Ehret and Ho（1986）は大型トマトの幼果においてがく片がない場合に比べてがく片があった場合、果実全体の蒸散速度が高くなったという報告をした。また、宇井・高野（1995）は大型トマトのがく片からの蒸散は幼果期において果実への物質転流に関与しており、重要な役割を果たしていると考えられている。しかしながら、本実験ではがく片へのグリス塗布の有無による裂果発生率の差異は認められなかった。したがって、果実の生育段階によりがく片からの蒸散の及ぼす影響あるいは果実全体の蒸散に対するがく片の蒸散の占める割合が異なっている可能性を示すものであり、少なくともミニトマトにおいては、がく片からの蒸散は裂果の発生に対してはほとんど影響がないものと考えられた。ただし、果皮からの蒸散は無視することはできないことから、裂果発生の抑制に関しては葉からの蒸散と同時に果実からの蒸散を促進させることが有効であろうと考えられた。また、果実からの蒸散量の多い（水分透過率が高い）品種の育成も耐裂果性という観点からは望まれる。

第6節 摘 要

ミニトマトの裂果発生の要因を解明するために、以下の実験を行った。

1. 裂果が実際に発生する時間帯を調査した結果、1日のうちで早朝午前5～午前7時に全裂果数の約56%が発生した。また、午前5時～午前9時の裂果発生率は約75%であった。この時間帯には、1日のうちで気温が最低を示し、相対湿度が高くなった結果、植物体内の水分含量が高くなり、果実の圧ポテンシャルが大きくなりやすい状態であったことによると推察された。
2. 完熟果実横径の日変化量を測定した。その結果、果実横径は午前6～8時

に最大値を示し、昼間には逆に収縮した。夏季における果実横径の変動は秋季の約3倍である0.28 mmの増加が確認された。また、裂果発生の直前あるいは裂果にともない果実横径は約0.5 mmと大きく増加した。

3. 茎の水分移動量は昼間最大値を示し、夜間においても少量の水分移動がみられた。葉柄の水分移動量の変動パターンは茎に類似したが、夜間は負の値を示した。逆に、果柄の水分移動量は昼間に負の値を示し、果実から流出したが、夜間から早朝において正の値を示し、果実内に水分が流入した。また、夜間光照射 (6000 lux) によって葉からの蒸散を促し、果柄への水分移動量を減少させたことにより、裂果の発生を低減させることが可能であった。

4. 果実および葉からの蒸散は、昼間最大値を示したが、果実の蒸散量は葉の蒸散量の1/10~1/20と極めて少なかった。グリスを塗布することによって果実表皮からの蒸散を抑制した場合、裂果が発生しやすいことが認められたが、一方、がく片からの蒸散は裂果発生に大きな影響を及ぼさなかった。

第4章 裂果発生制御のための栽培方法の検討

本章においてはこれまでの結果に基づき、ミニトマトの裂果発生の制御をすることを目的としていくつかの栽培方法を検討したものである。まず第1節においては、空気湿度が水耕ミニトマトの裂果発生に及ぼす影響を調査し、果実の硬さなどの特性との関係を検討した。さらにこの結果から、送風処理が空気湿度を低減させ、裂果発生の抑制効果を有するか否かについても検討した。

第1章第2節では水耕培養液が高濃度になるほど、果実の食味が改善されたということも明らかにした。しかしながら、高濃度培養液で栽培した場合には、裂果の発生が増加する傾向にあることも認められた。そこで、数種類の水耕培養液濃度における植物体各々の器官の吸水能力を測定することによって、裂果発生との関係について検討を加えた。これまでに二井内（1963）は大型トマトにおける果実内部の圧力と吸水量の増加による裂果との関係について、側面裂果は人工的に水を注入することによって誘発されることを報告した。本研究においても第2章第1節で側面裂果は人工的に誘導可能であることを示した。したがって、数種培養液濃度で栽培されたミニトマト果実を供試して、人工的に裂果を発生させ、裂果の感受性を調査検討した。

ところで、大型トマトあるいはミニトマトにおいて裂果の発生と植物体の水分状態との関係については村瀬ら（1993）および山田・村瀬（1994）など数例の報告がみられるにすぎない。大型トマトにおいては、Murase（1981）は裂果が発生するときには果実の水ポテンシャルが上昇することを報告した。裂果の発生と果実の圧ポテンシャルの関係に関しては甘果オウトウ（Andersen and Richardson, 1982 ; 山本ら, 1990a, 1990b）、プルーン（Milad and Shackel, 1992）、カンキツ（Elfving and Kaufmann, 1972）およびブドウ（Considine and Kriedemann, 1972 ; Yamamura et al., 1986）などについての報告がある。また、果実の水ポテンシャルの日変化は、カンキツ（Elfving and Kaufmann, 1972）および甘果オウトウ（Tvergyak and Richardson, 1979）において、昼間低下し、夜間上昇する傾向にあるという報告がある。これまでの研究結果において、果実の圧ポテンシャルと裂果の発生との関係は統一された見解がみられないが、裂果の発生が昼夜で変動する果実および葉の水分状態と関連があるのではないかと推察される。したがって、第2節においては、数種水耕培養液濃度で栽培されたミニトマトにおいて、裂果の発生要因を水分ポテンシャルの差

異あるいはその変動から明らかにし、培養液濃度による裂果発生の制御を試みる実験を行った。またポリエチレングリコールを用いた低浸透ポテンシャル溶液による裂果発生の制御を検討した。

第3節においては、果房への水分移動を抑制するための栽培技術的手法を用いて裂果発生の制御を試みたものである。

以上の裂果制御方法とは別に、数種果実ではこれまで試みられた化学物質などによる裂果発生の制御方法として、CaCl₂溶液の散布 (Dickinson et al., 1964)、GA、IAA (Batal et al., 1972)、NAA (Yamamoto et al., 1992) などの植物生長調整物質の散布、銀、水銀、フッ化物の散布 (Wade and McCollum, 1988) および銅の散布 (Brown et al., 1995) などが研究されてきた。しかしながら、上記の化学物質の中には溶液散布による果実表面における水分付着による裂果発生増加の危険性、果実表面の汚染あるいは重金属などによる健康上の問題などが考えられる。そこで、第4節においては、植物生長調整物質の中から果実の熟期を促進するエスレルおよびアブシジン酸を用いて裂果発生に対する影響を検討するとともに、収穫労力を低減させるためにミニトマトの房収穫法を試みた。

第1節 湿度が裂果発生に及ぼす影響

ミニトマトにおいては収穫期に曇天あるいは雨天が続いた場合 (梅雨期など)、空気湿度が昼間においてもかなり高くなり、裂果の発生が多くなることが知られている。第1章の結果から、果実特性に関しては、裂果の発生は高糖度で、硬い果実に少なく、逆に低糖度で、軟らかい果実ほど多いことが確認された。裂果の発生要因に関して栽培環境のうち気温、空気湿度および日射量などが考えられるが、ミニトマトの裂果は収穫期が曇天あるいは雨天である場合に多く発生することから空気湿度に着目した。しかしながら、これまでに裂果の発生について空気湿度の点から検討した研究は大型トマトではDrews (1978) の報告が、ミニトマトでは伊藤ら (1990a) の報告がみられるにすぎない。また、空気湿度と果実の硬さとの関係を調査検討した報告はまったくみられない。

そこで本節においては、空気湿度がミニトマトの裂果発生に及ぼす影響を調査し、果実特性との関係を検討した。さらに、その結果をふまえ、送風処理によって植物体周囲における空気湿度を低減させた場合、裂果の発生を制御する

ことが可能であるか否かについて検討した。

第1項 相対湿度と裂果発生の関係

材料および方法

ミニトマトの供試品種は第1章第1節の結果から、裂果発生率および糖度が中程度である‘サンチェリー’ならびに裂果発生率および糖度が比較的高い‘アカッコ’の2品種を用いた。播種は1988年12月21日に行い、定植は1989年1月25日に島根大学農学部附属農場の無加温ガラス室内（2重カーテンおよびトンネルにより最低気温6℃を維持）に設置された水耕ベッドに行った。なお、水耕装置、培養液および栽培方法は第1章第1節と同様であった。

処理は1989年3月3日（第1花房開花始期）、湿度を3段階（無処理の対照、低湿度および高湿度）に調節した島根大学農学部のコイトロン（昼温（午前8時～午後6時）／夜温（午後6時～午前8時）＝25℃／15℃）に苗を移動して開始した。なお、湿度処理によるコイトロン内の相対湿度の日変化（第1

花房付近）は第4-1図に示したとおりであった。コイトロン内における栽培には1/2000 aワグネルポットを用い、エアーポンプにより約 $1.7 \text{ liter} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{pot}^{-1}$ の割合で連続通気を行った。供試株数は1処理当たり3株とした。仕立て法は1本仕立てとし、摘心は各株ともに第2果房上3葉を残して行った。収穫は1989年4月14日から5月30日に週2回から3回の割合で行った。

収穫果数に対する裂果数を調査し裂果発生率を算出

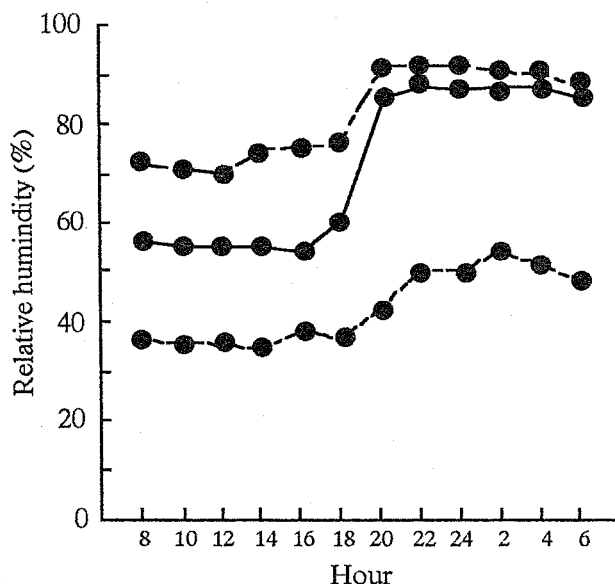


Fig. 4-1. Diurnal fluctuations of relative humidity in the control (●—●), low humidity (●---●) and high humidity (●- - -●). Average of relative humidity measured on the sunny days, May, 1989.

した。また、収穫した果実の重量、全裂開長（裂開した部位が複数の果実は合計の長さ）、果実の糖度（屈折計示度）、滴定酸度（クエン酸換算）および果実の硬さを調査した。なお、果実の硬さに関しては果実の貫入抵抗力、貫通抵抗力および果皮の引張り抵抗力について測定し、貫入抵抗力（第1-3図、a、b および c） および果肉・果皮の貫通抵抗力（第1-3図、d および e）は第1章第1節に記した方法で測定した。また、果皮の引張り抵抗力は伊藤ら（1981）の方法に基づいて測定し、引張り応力、果皮の伸び率および弾性エネルギーで表した。本実験における果皮の試験片は長辺30 mm、短辺10 mmおよび厚さ1.0 mm（一部果肉含む）とし、その切片の長軸を果実の経線方向に並行に採取した縦試験片ならびに果実の経線に直角方向に採取した横試験片を作製し、測定に供した。

結果および考察

供試品種の裂果発生率は対照区において‘サンチェリー’が21%、‘アカコッコ’が37%であり、‘アカコッコ’は‘サンチェリー’よりもかなり高かった（第4-2図）。また、両品種とも裂果発生率は低湿度区で減少し、高湿度区で増加した。すなわち‘サンチェリー’は低湿度区で2%と著しく低く、対照区に比べ19%程度低下したが、‘アカコッコ’では15%で対照区に比べ約22%低下した。高湿度区では、‘サンチェリー’が31%で対照区に比べて10%増加したが、

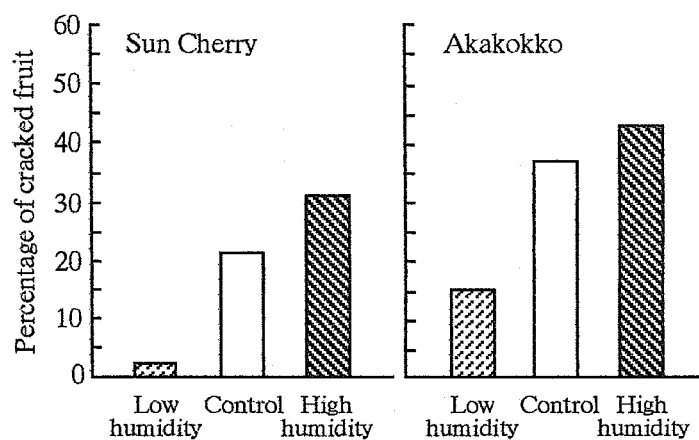


Fig. 4-2. Effect of relative humidity on the rate of fruit cracking in cherry tomato.

が、‘アカコッコ’は43%で対照区よりも6%増加した。以上のように、湿度処理による裂果発生率の増減幅は‘サンチェリー’の方が‘アカコッコ’を上回った。これは品種の特性によると考えられるが、その要因解明に関しては今後の研究が待たれる。

裂開長および裂開長率

(果実を球と仮定した場合の球周長に対する裂開長の割合)は‘サンチェリー’、‘アカコッコ’ともに、高湿度区が対照区に比べ有意に大きくなった(第4-1表)。なお低湿度区の裂開長および裂開長率は対照区とほぼ同等の数値を示し、有意差が認められなかった。果実重は‘サンチェリー’の場合、対照区と高湿度区との間に差がみられず、低湿度区は前2区よりも大きくなった。一方、‘アカコッコ’では処理区間に差が認められなかった。糖度、酸度および糖酸比に関しては両品種いずれも湿度処理による差が認められなかった。

果実の硬さに関しては、対照区において‘サンチェリー’が‘アカコッコ’

Table 4-1. Effect of relative humidity on size and quality of cherry tomato fruit.

Cultivar	Treatment	Crack length (mm)	L/C ratio ^z (%)	Weight (g)	Soluble solids content (Brix)	Titrateable acidity ^y	Solid-acid ratio
Sun Cherry	Low humidity	28.9 a ^x	29.5 a	14.0 b	8.1	0.53	15.3
	Control	29.7 a	33.9 a	12.3 a	8.0	0.57	14.0
	High humidity	36.2 b	41.1 b	11.7 a	8.2	0.55	14.9
					NS	NS	NS
Akakokko	Low humidity	20.5 a	28.9 a	9.7	10.6	0.56	18.9
	Control	21.7 a	27.5 a	8.8	10.8	0.54	20.0
	High humidity	33.4 b	40.8 b	9.6	10.3	0.56	18.4
				NS	NS	NS	NS

^z The L/C ratio is the crack length / fruit circumference \times 100, assuming that the tomato fruit is a sphere.

^y % as citric acid.

^x Different letters within the same cultivar indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

よりも貫入応力値、貫入エネルギー値および果肉・果皮の貫通抵抗値がともに大きな値を示した(第4-2表)。また、果皮の引張り応力値および弾性エネルギー値も同様な結果を示した(第4-3表)。このことから、‘サンチェリー’は‘アカコッコ’より硬い果実であることが明らかになり、この結果はこれまでの結論と一致するものであった。湿度処理が果実の硬さに及ぼした影響は両品種とも同様の傾向がみられた。すなわち、貫入応力値は低湿度区が対照区に比べて大きく、逆に高湿度区において有意な差とはいえないものの幾分小さくなる傾向がみられた。変形量については処理による差がみられなかった。貫入エネルギー値は対照区に比べて低湿度区が有意に大きくなり、高湿度区では有意な差がみられなかった。また、果肉・果皮の貫通抵抗値は対照区に比べて低湿度区で大きく、逆に高湿度区で小さくなる傾向が認められた。果皮の引張り

Table 4-2. Effect of relative humidity on puncture resistance and penetrating resistance of cherry tomato fruit.

Cultivar	Treatment	Penetrating stress (Kg·cm ⁻²)	Penetrating deformation (cm)	Penetrating energy (Kg·cm·cm ⁻²)	Penetrating resistance	
					Flesh (Kg·cm ⁻²)	Skin (Kg·cm ⁻²)
Sun Cherry	Low humidity	9.92 a ^z	0.53	2.61 a	2.10 a	6.05 a
	Control	9.02 b	0.51	2.31 b	1.92 ab	5.48 ab
	High humidity	8.74 b	0.51 NS	2.23 b	1.73 b	4.88 b
Akakokko	Low humidity	8.39 a	0.47	1.96 a	2.01 a	4.39 a
	Control	7.38 b	0.44	1.64 b	1.83 ab	3.69 b
	High humidity	7.30 b	0.48 NS	1.80 ab	1.47 b	3.64 b

^z Different letters within the same cultivar indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

Table 4-3. Effect of relative humidity on tensile strength of cherry tomato fruit.

Cultivar	Treatment	Equatorial arc specimen			Polar arc specimen		
		Tensile stress (Kg·cm ⁻²)	Tensile rate ^z (%)	Resilience (×10 ⁻² Kg·cm)	Tensile stress (Kg·cm ⁻²)	Tensile rate ^z (%)	Resilience (×10 ⁻² Kg·cm)
Sun Cherry	Low humidity	3.96 a ^y	3.0	1.49	3.72	3.8	1.65
	Control	3.36 b	2.9	1.35	3.17	3.1	1.55
	High humidity	3.23 b	3.2 NS	1.46 NS	3.54 NS	3.8 NS	1.63 NS
Akakokko	Low humidity	3.15 a	3.1	1.39	2.93	3.0	1.15
	Control	2.70 ab	2.9	1.16	2.67	3.0	1.12
	High humidity	2.38 b	2.7 NS	0.92 NS	3.12 NS	3.5 NS	1.49 NS

^z Strech quantity / Length of test piece × 100.

^y Different letters within the same cultivar indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

応力値は横試験片の場合、同様に対照区に比べて低湿度区で大きく、高湿度区で小さくなる傾向が認められたが、縦試験片の場合は湿度処理による差が認められなかった。この結果は果実の経線方向（裂開の生じる方向）には引張り応力値に差が生じたが、緯線方向には生じなかったことを示し、緯線方向の展張度に影響を及ぼした可能性を示唆した。果皮の伸び率および弾性エネルギー値には湿度処理による差が認められなかった。

以上の結果から、湿度が裂果発生の一要因であることが認められ、それは植物体内の蒸散などの水分移動と関連し、その結果果実の硬さに大きく影響を及ぼしていることが示唆された。

第2項 送風処理による裂果発生の制御

材料および方法

本実験においては第1節と同様に育苗した苗を供試し、定植後引続き無加温ガラス室内で栽培した株を用いて実施した。送風処理は電動ファンとビニールダクトを用い、1989年4月6日（第1花房着果後）に開始した。この場合の風

速は植物体付近で約 $2.0 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ であった。

なお、送風処理による相対湿度および気温の日変化は第4-3図に示したとおりであった。供試株数は1処理区当たり5株とした。仕立て法は1本仕立てとし、摘心は各株ともに第4花房の上3葉で行った。収穫は1989年5月8日から6月12日に週2回から3回の割合で行った。なお、調査項目は前項と同様であった。

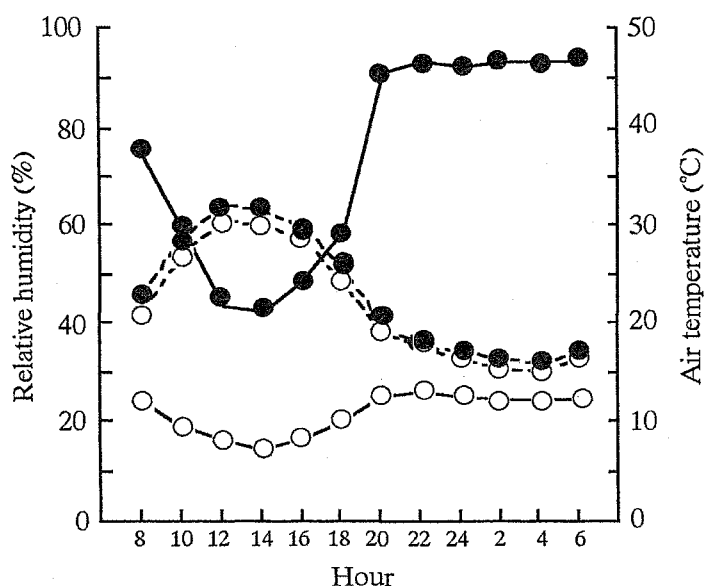


Fig. 4-3. Diurnal fluctuations of relative humidity (---) and temperature (---) in the control (●) and ventilation (○) treatment. Average of relative humidity measured on sunny days, June, 1989.

結果および考察

‘サンチェリー’は‘アカコッコ’と比較して裂果発生率が低く、第1項と同様な結果を示した（第4-4図）。裂果の発生は両品種とも送風区で減少した。とりわけ、‘サンチェリー’は‘アカコッコ’に比べて、送風区における裂果発生の抑制程度が大きかった。裂開長および裂開長率は両品種ともに送風区で小さかった（第4-4表）。果実重、糖度、酸度および糖酸比には送風処理による差が認められなかった。

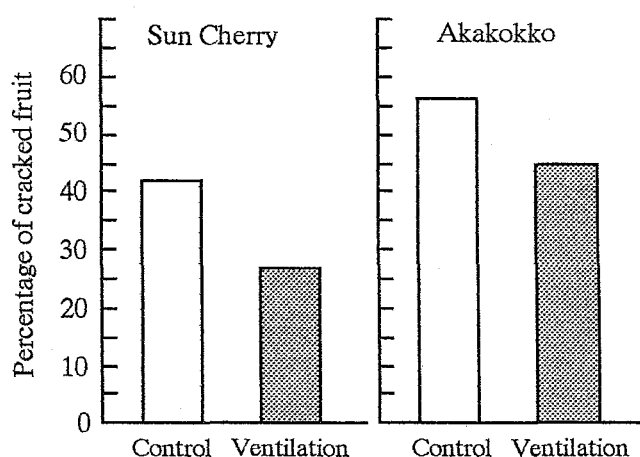


Fig. 4-4. Influence of ventilation treatment on the rate of fruit cracking in cherry tomato.

果実の硬さに関しては、両品種ともに貫入応力値および果皮の貫通抵抗値が送風区で有意に大きくなった（第4-5表）。変形量、貫入エネルギー値および果肉の貫通抵抗値には送風処理による有意な差は認められなかったが、大きくなる傾向を示した。果皮の引張り応力値には両品種ともに

Table 4-4. Effect of ventilation on size and quality of cherry tomato fruit.

Cultivar	Treatment	Crack length (mm)	L/C ratio ^z (%)	Weight (g)	Soluble solids content (Brix)	Titrateable acidity ^y	Solid-acid ratio
Sun Cherry	Control	52.6 a ^x	58.7 a	13.9	7.8	0.52	15.0
	Ventilation	41.2 b	47.8 b	13.5	8.0	0.52	15.4
				NS	NS	NS	NS
Akakokko	Control	38.2 a	46.7 a	10.3	9.7	0.52	18.7
	Ventilation	33.6 b	40.7 b	10.5	9.7	0.52	18.7
				NS	NS	NS	NS

^z The L/C ratio is the crack length / fruit circumference $\times 100$, assuming that the tomato fruit is a sphere.

^y % as citric acid.

^x Different letters within the same cultivar indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

Table 4-5. Effect of ventilation on puncture resistance and penetrating resistance of cherry tomato fruit.

Cultivar	Treatment	Penetrating stress (Kg \cdot cm $^{-2}$)	Penetrating deformation (cm)	Penetrating energy (Kg \cdot cm \cdot cm $^{-2}$)	Penetrating resistance	
					Flesh (Kg \cdot cm $^{-2}$)	Skin (Kg \cdot cm $^{-2}$)
Sun Cherry	Control	8.47 a ^z	0.50	2.15	1.80	5.00 a
	Ventilation	8.92 b	0.49	2.26	1.90	5.45 b
			NS	NS	NS	
Akakokko	Control	7.49 a	0.46	1.74	1.73	4.40 a
	Ventilation	8.02 b	0.42	1.69	1.87	4.89 b
			NS	NS	NS	

^z Different letters within the same cultivar indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

Table 4-6. Effect of ventilation on tensile strength of cherry tomato fruit.

Cultivar	Treatment	Equatorial arc specimen			Polar arc specimen		
		Tensile stress (Kg·cm ⁻²)	Tensile rate ^z (%)	Resilience (×10 ⁻² Kg·cm)	Tensile stress (Kg·cm ⁻²)	Tensile rate ^z (%)	Resilience (×10 ⁻² Kg·cm)
Sun Cherry	Control	3.88	3.5	1.87	4.08	4.0	2.08
	Ventilation	3.98	3.8	1.96	4.35	4.6	2.68
		NS ^y	NS	NS	NS	NS	NS
Akakokko	Control	3.33	4.0	1.73	3.19	4.6	2.00
	Ventilation	3.54	3.9	1.78	3.39	5.1	2.39
		NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z Strech quantity / Length of test piece × 100.^y Different letters within the same cultivar indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

横・縦試験片いずれも有意な差とはいえないものの、送風区でやや大きくなる傾向がみられた（第4-6表）。

したがって、本実験の結果から、裂果の発生を抑制する一つの方法として送風による湿度低減処理は植物体からの蒸散量増加によるものと推察され、極めて効果的であろうと判断された。

第2節 水耕培養液濃度および培地浸透ポテンシャルによる裂果発生の制御

第1章第2節においては水耕培養液が高くなるほど裂果発生が増加する傾向にあることを明らかにした。また、果実の低浸透ポテンシャルがミニトマトの裂果を引き起こす要因の一つであることを確認した。しかしながら、これまでに大型トマトあるいはミニトマトにおいて裂果の発生と植物体の水分状態との関係についてはあまり報告がみられない。

大型トマトにおいては、Murase (1981) はサイクロメーターを用いてin situで経時的変化を測定したが、その結果裂果が発生する時点で果実の水ポテンシャルが約0.2 MPa 上昇することを報告した。また、村瀬(1990) はミニトマトにおいて同様の方法を用いて水ポテンシャルが約0.8 MPa上昇した場合に裂果の発生がみられたことを認めた。したがって、裂果の発生は昼夜で変動する果実および葉の水ポテンシャル、浸透ポテンシャルおよび圧ポテンシャルと関連があるのではないかと推察できる。さらに、空気湿度が高い雨天時における植物体の水分状態も裂果発生に深く関与しているように思われる。

これまでに裂果発生の低減法については、本章第 1 節において植物体への送風処理を検討し、効果的であることを認めた。また、山田・村瀬（1994）の報告によれば夜間に給液ポンプを停止させ、植物体内への水分の流入を抑制し、果実の水ポテンシャルを低く抑えることによって裂果発生を低減させる方法などが考案されている。

したがって、本節においては、数種類の水耕培養液濃度で栽培された植物体（果実および葉）において、裂果発生のメカニズムを水分状態の差異あるいは変動から明らかにし、また培養液濃度によって裂果の発生が制御可能であるかどうか検討することを目的として実験を行った。さらに、昼間に植物体に大きな水分ストレスをかけることなく、裂果の発生を制御するために、夜間のみ低浸透ポテンシャル培養液に株を移動して栽培する方法を試みた。

第 1 項 水耕培養液濃度による裂果発生の制御

植物体各部位の吸水能力の差異

材料および方法

‘サンチェリー’を1991年2月19日に播種し、4月15日に水耕ベッドに移植した。本実験における処理および栽培方法は第1章第2節と同様であった。

1991年6月28日に完熟果実、成熟葉および根を採取し、 -20°C のフリーザー内で凍結保存した。この場合、果実は果皮、果肉部およびゼリー部に分割した。24時間後に、各器官の浸透ポテンシャルを氷点降下法によって測定した。

また、果実の吸水量を測定するために、収穫直後の果実を供試してシャーレ内で小果柄の先端部のみを蒸留水に浸漬し人工的に裂果を発生させた。6時間後、裂開した果実の割合および果実の膨張率を調査した。

結果および考察

高濃度培養液の果実における果肉の浸透ポテンシャルは、低濃度培養液の果実における果肉の浸透ポテンシャルより有意に低下した（第4-7表）。また、葉および根でも有意差はないものの 2.0 u 区で低下した。なお、果実のゼリー部に

おける浸透ポテンシャルについては培養液濃度間には差異がみられなかった。

小果柄を蒸留水に浸漬することにより人工的に裂果を発生させた場合、高濃度培養液の果実が低濃度培養液の果実より多く認められた（第4-8表）。さらに、高濃度培養液の果実が果実体積の膨張率は大きいことが認められた。この結果は

高濃度の水耕培養液条件下で得られた果実は、吸水力が大きく、かつ少量の吸水によっても裂果の発生を引き起こすことを示唆している。

Table 4-7. Effect of the nutrient solution concentrations on osmotic potential of flesh, placenta, leaf and root in cherry tomato cv. Sun Cherry.

Treatment	Osmotic potential (–MPa)			
	Flesh ^z	Placenta	Leaf	Root
0.5 u ^y	1.10 a ^x	1.27	1.04	0.57
1.0 u	1.28 b	1.31	1.12	0.59
2.0 u	1.34 c	1.29	1.20	0.63
		NS	NS	NS

^z Expect of placenta

^y The concentration of nutrient solution ; one unit (1.0u) is standard concentration.

^x Different letters within the same cultivar indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

Table 4-8. The differences of fruit cracking, fruit weight and expansion by pedicel dipping test at fruits harvested from three concentrations of nutrient solution in cherry tomato cv. Sun Cherry.

Treatment	Percentage of cracked fruit	Fruit weight (g)			Rate of expansion ((B–A)/A×10 ²)
		Before dipping (A)	After dipping (B)	Difference (B–A)	
0.5 u ^z	29.2 a ^y	17.66 c	17.74 c	0.077	0.44 a
1.0 u	34.8 b	13.48 b	13.55 b	0.073	0.52 ab
2.0 u	51.7 c	10.38 a	10.45 a	0.062	0.67 b
				NS	

^z The concentration of nutrient solution ; one unit (1.0u) is standard concentration.

^y Different letters within the same cultivar indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

果実発育中の果実および葉の水ポテンシャル変化および果実特性

材料および方法

ミニトマト‘サンチェリー’を供試し、播種は1992年7月14日に行った。8月17日に水耕ベッドに定植した。摘心は第3果房上に3葉を残して行った。水耕装置、水耕培養液の濃度および管理は第1章第2節と同様に実施した。収穫は1992年10月9日から12月8日に週3回の割合で行った。収穫時には裂果発生

率を調査した。

果実および葉の水ポテンシャルの測定は、第3章第3節の方法により実施した。果実特性は、色調（L、aおよびb値）、果実重、糖度ならびに午前11時および午後11時における水ポテンシャルについて、開花後3～8週目まで1週間ごとに測定した。定植後2週目においては、本葉第7葉の先端の3小葉の水ポテンシャルを測定し、定植後4～12週目においては2週間ごとに本葉第7葉および第14葉のうちの1小葉の水ポテンシャルを測定した。

結果および考察

0.5 u、1.0 uおよび2.0 uの水耕培養液で栽培した場合の裂果発生率は、それぞれ15.2、24.7および30.1%であった。これらの値は各濃度間には5%水準で有意な差異が認められ、高培養液濃度区ほど裂果の発生が増加したことが認められた。裂果の発生と培養液濃度の関係については、本実験においても第1章第2

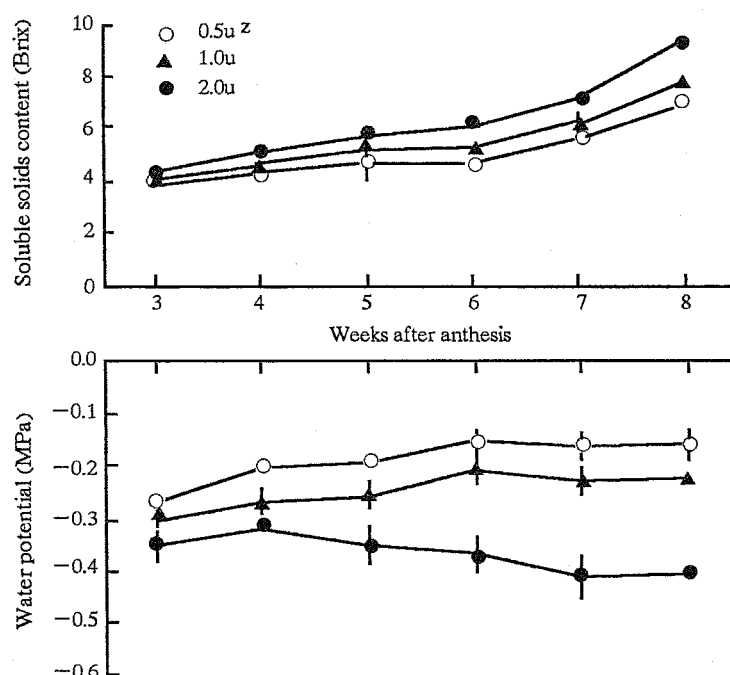


Fig. 4-5. Weekly changes in soluble solids content and water potential in cherry tomato cv. Sun Cherry grown in three concentrations of nutrient solution. Vertical bars indicate standard error of the mean.

^z The concentration of nutrient solution ; one unit (1.0u) is standard concentration.

節と同様な結果が得られた。

果実の色調については各週いずれにおいても、3濃度間に明瞭な差異はみられず、本実験では、開花後7週目において果実は催色期に達し(a/b値が0.6~0.9)、8週目においては完熟期であった(a/b値が1.3~1.4)。培養液濃度による果実重の差異は、開花後3週目からみられ、2.0 u区の果実重は0.5 u区より小さい値を示し、8週目においては0.5 u区で18.1 g、1.0 u区で15.4 gそして2.0 u区で10.9 gであった。

果実の糖度は、開花後6週目以降2.0 u区において他の濃度より明らかに高かった(第4-5図)。果実の水ポテンシャルは、開花後3週目以降2.0 u区において最も小さい値を示し、0.5 u区においては、全期間最高値を示した。葉の水ポテンシャルは、開花後2週目および4週目においては処理間に明瞭な差異はみられなかった(第4-6図)。しかし、開花後6週目以降においては、処理間に差異が生じ、0.5 u区で最も高かったのに対して、2.0 u区で最も低下した。また、本葉第7葉と第14葉との間には水ポテンシャルの明瞭な差異は認められなかった。果実および葉の水ポテンシャルが低下した場合、果実および葉の水分含量は少ないことを示し、果実および葉の吸水力は比較的早い生育段階から高い状態であったといえる。したがって、水耕培養液濃度が高い場合、植物体の吸水が

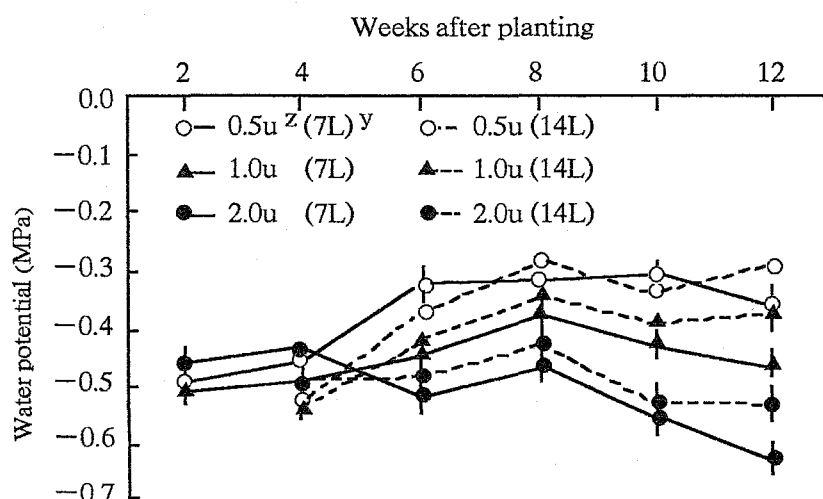


Fig. 4-6. Biweekly changes in water potential of leaves of cherry tomato cv. Sun Cherry collected from plants grown in three concentrations of nutrient solution. Vertical bars indicate standard error of the mean.

^z The concentration of nutrient solution ; one unit (1.0u) is standard concentration.

抑制された結果、果実の肥大が抑制され、その結果濃縮効果により糖度も高くなったと判断された。

果実および葉の水ポテンシャルの日変化

材料および方法

本実験における供試品種、栽培方法および耕種概要は第2項と同様であった。本実験においては、開花後8週目における完熟果実の水ポテンシャルおよび本葉第11葉あるいは第12葉の1小葉の水ポテンシャルを測定した。測定方法は第2項に準じた。測定は晴天日とし、午前11時から3時間ごとに行った。果実の水ポテンシャルについては午後2時および午前2時に測定し、その後直ちに、小果柄の先端部のみを2時間以上蒸留水に浸漬して水飽和に近い状態にし、果実の浸透ポテンシャルを氷点降下法によって測定した。なお、果実の圧ポテンシャルは、水ポテンシャルの値から浸透ポテンシャルの値を引くことによって算出した。

結果および考察

果実および葉の水ポテンシャルの日変化は第4-7図に示した。果実の水ポテンシャルは、全濃度いずれにおいても午後2時に最小値を示し、午前2時に最大値を示した。午前8時から午後5時における2.0u区の果実の水ポテンシャルは、他の2濃度の水ポテンシャルより低い値を示した。しかし、午前8時から午後5時においては明瞭な差異はみられなかった。葉の水ポテンシャルは、全濃度で午前11時あるいは午後2時に最低値を示し、逆に午前2時あるいは午前5時に最高値を示した。2.0u区において午前8時から午後2時における葉の水ポテンシャルは、他の濃度より低下した。しかし、上記以外の時間では葉の水ポテンシャルは、3濃度ともほぼ同様の値を示した。水耕培養液濃度が高くなるにしたがい、果実および葉の水ポテンシャルの変動量は大きいものとなった。

水耕培養液濃度が高くなるほど、午後2時における果実の水ポテンシャルおよび浸透ポテンシャルは大きく低下した(第4-8図)。培養液濃度が高いほど、果実の浸透ポテンシャルは果実の水ポテンシャルの値以上に減少した結果、果

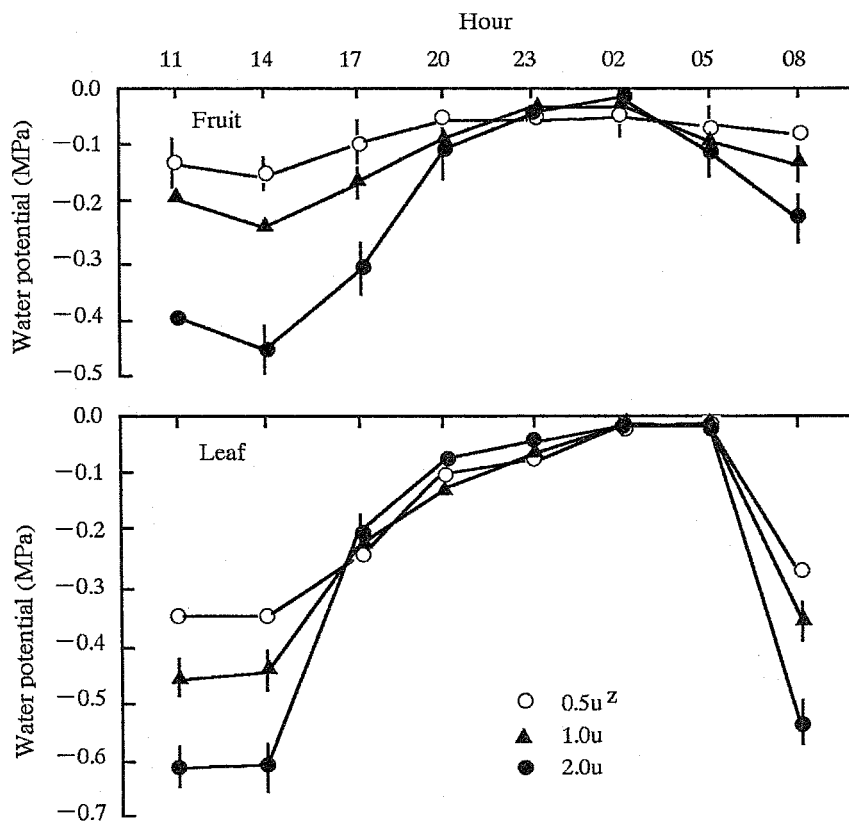


Fig. 4-7. Diurnal changes in water potential of fruits and leaves of cherry tomato cv. Sun Cherry harvested from three concentrations of nutrient solution. Vertical bars indicate standard error of the mean.
^z The concentration of nutrient solution ; one unit (1.0u) is standard concentration.

実の水ポテンシャルは増加した。午前2時においては果実の水ポテンシャルは、いずれの濃度処理区においても同程度の値を示した。午後2時と同様に、午前2時には果実の浸透ポテンシャルは高濃度ほど減少した。したがって、水耕培養液濃度が高くなるほど、果実の水ポテンシャルは著しく増加した。さらに、昼間の値と比較して、夜間における果実の水ポテンシャルおよび浸透ポテンシャルの値はより高い値を示した。

これらの結果から、果実および葉の水ポテンシャルの変化は植物体内における水分移動によって生じた水分状態を示したと推察される。この変化の傾向は、0.5 u区と比較して2.0 u区において顕著であった。このように、昼間は高濃度区ほど植物体内の水分が減少していたが、逆に夜間においては高濃度区ほど植物体のより多い吸水によって果実内の水ポテンシャルが高まり、裂果が誘発されたことが示唆される。

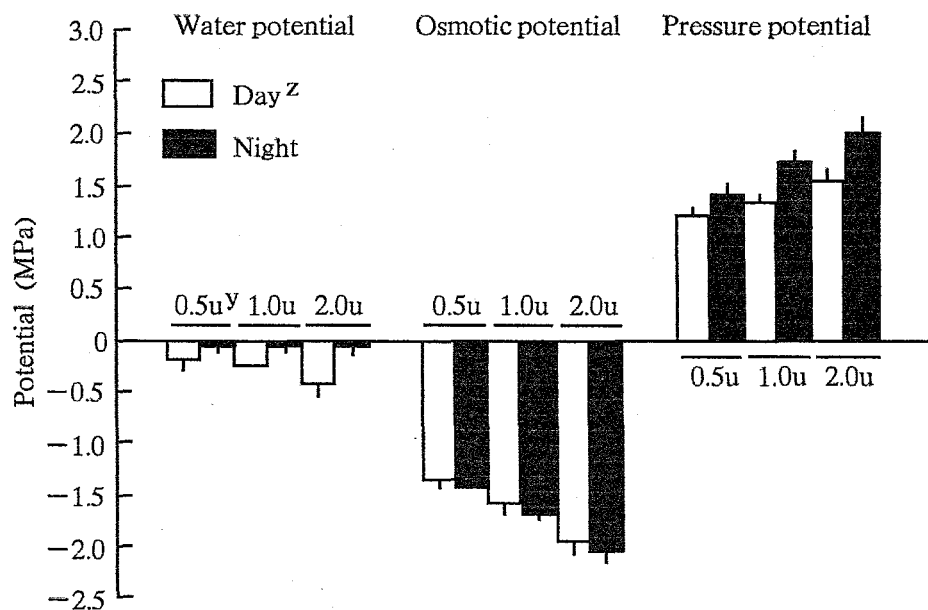


Fig. 4-8. Water status of cherry tomato cv. Sun Cherry fruits harvested from three concentrations of nutrient solution. Vertical bars indicate standard error of the mean.

^z The concentration of nutrient solution ; one unit (1.0u) is standard concentration.

^y Day indicates daytime (PM 2), night indicates nighttime (AM 2).

晴天日および雨天日における果実および葉の水ポテンシャルの差異

材料および方法

本実験における供試品種、栽培方法および耕種概要は第2項と同様であった。完熟果実の水ポテンシャルおよび本葉第13葉の1小葉の水ポテンシャルについて、午前11時～午後2時の間に測定した。水ポテンシャルの測定法方は第2項に準じた。本実験における測定は晴天日ならびに雨天日に実施した。

結果および考察

雨天日においては果実および葉の水ポテンシャルは、晴天日と比較して著しく高くなり、植物体の水分含量が高まったことを示した(第4-9図)。晴天日と比較した場合、雨天日における果実の水ポテンシャルは0.5 uに比べて1.0 u区および2.0 u区でより高くなった。この結果は、雨天日に2.0 u区における果実の圧

ポテンシャルが0.5 u区より高かったことを示唆するものであり、雨天日には晴天日よりより高濃度区で果実の裂開が発生しやすい状態になっていることを意味していると考えられる。

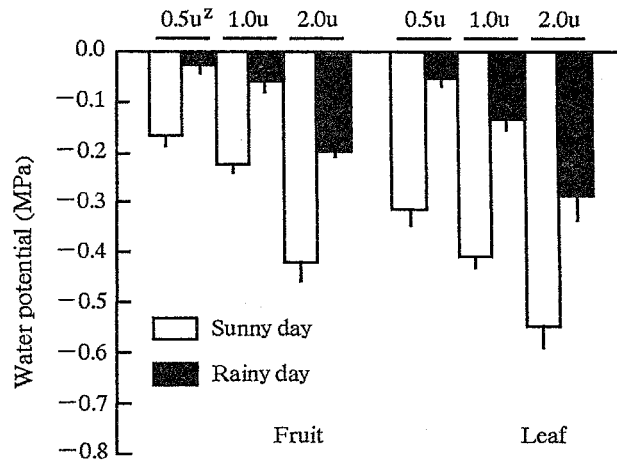


Fig. 4-9. Water potential of fruits and leaves of cherry tomato cv. Sun Cherry grown in three concentrations of nutrient solution and harvested on sunny and rainy days. Vertical bars indicate standard error of the mean.

^z The concentration of nutrient solution ; one unit (1.0u) is standard concentration.

第2項 低浸透ポテンシャル溶液による裂果発生制御

材料および方法

供試品種は‘サンチェリーエキストラ’とした。島根大学農学部圃場に設置されたビニールハウス内で実験を行った。1994年7月25日に播種し、8月25日に1/2000 aワグネルポットに定植した。処理区は対照区（標準濃度培養液；1.0 u、培養液の浸透ポテンシャル：-0.12 MPa）、1.0 uにポリエチレングリコール（以下PEGと称す）400を40 mM添加した区（培養液の浸透ポテンシャル：-0.24 MPa）および90 mM添加した区（培養液の浸透ポテンシャル：-0.36 MPa）の3区を設定した。なお、培養液へのPEGの添加濃度は位田ら（1970）、（Erlandsson、1975）および渡邊ら（1987）の報告を参考にして決定した。各処理5株を供試した。処理は収穫期（1994年10月26日～11月14日）に、午後9時～午前9時の間実施した。なお、処理期間中に1度PEG溶液を全量交換した。

その他の栽培方法および水耕装置は、第3章第1節と同様であった。

調査項目は、裂果発生率（収穫期間中、週3回の割合で収穫）ならびに果実特性として色調（L, aおよびb値）、果実の大きさ、果実重、糖度および硬さ（果肉および果皮の貫通抵抗；第1-3図、dおよびe）であり、また果実および葉の水ポテンシャルを測定した。なお、水ポテンシャルの測定は晴天日において前節と同様な方法で実施し、その測定時間は昼間は午後0時～午後2時の間、夜間は午前0時～午前2時の間とした。

結果および考察

裂果発生率は、対照区（約20%）と比較した場合PEG添加区で減少する傾向が認められた（第4-10図）。とくにPEG90 mM添加区においては13.6%となり、対照区の2/3程度に減少し、PEG添加の効果が認められた。

色調については、いずれの処理区においてもa/b値が1.30以上であった（第4-9表）ことから、全て完熟果と判断された。また、果実特性については、PEG添加処理によって明瞭な差異はなく、とくに本実験でのPEG処理による影響は認められなかった。

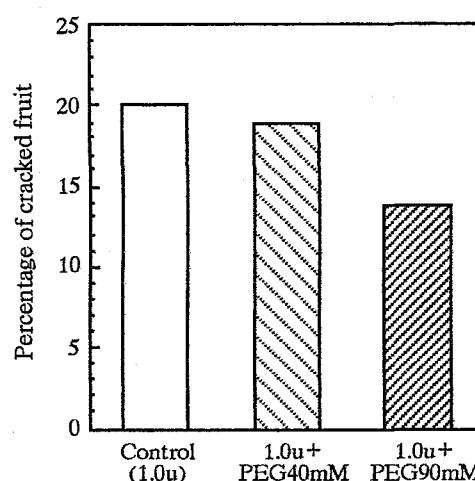


Fig. 4-10. Effect of PEG supplement to nutrient solution on the rate of fruit cracking in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra.

Table 4-9. Effect of PEG supplement to solution on coloration, weight, soluble solids content and penetrating resistance of cherry tomato fruit cv. Sun Cherry Extra.

Treatment	L	a	b	a/b	Weight (g)	Soluble solids content (Brix)	Penetrating resistance	
							Flesh (Kg·cm ⁻²)	Skin (Kg·cm ⁻²)
Control (1.0u)	25.1	15.9 a ^z	11.8	1.35 a	24.5	7.9	1.82	5.24
1.0u+PEG 40mM	24.9	17.5 b	11.8	1.48 b	23.3	8.2	1.91	5.86
1.0u+PEG 90mM	25.4	17.4 b	12.1	1.44 ab	25.2	7.8	1.85	5.15
	NS		NS		NS	NS	NS	NS

^z Different letters indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

果実および葉の水ポテンシャルについては、夜間においては果実および葉いずれもPEG90 mM添加処理によって水ポテンシャルが低下しており（第4-11図）、植物体の吸水が抑制されていたことを示したといえる。一方、昼間の水ポテンシャルは対照区とPEG添加区との間には明瞭な差異はみられず、夜間のみの処理は昼間の植物体の水分状態にとくに影響はないように判断された。

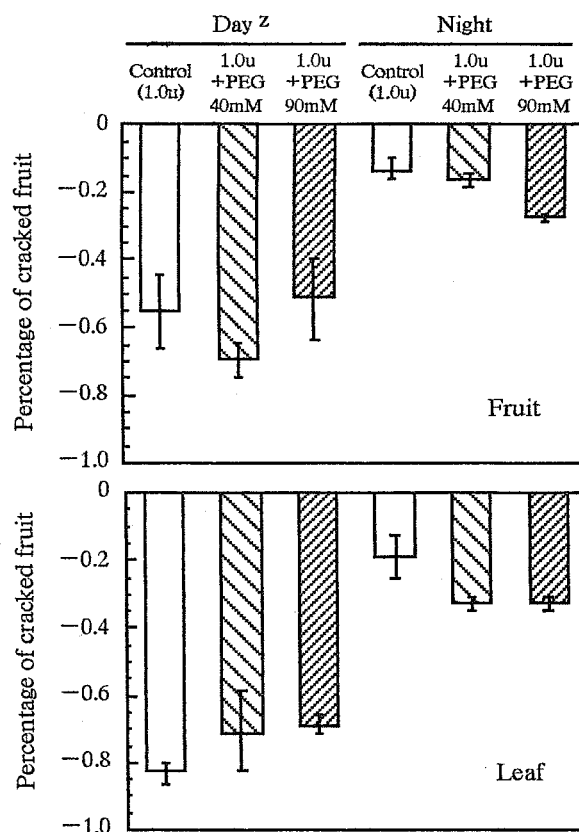


Fig. 4-11. Effect of PEG supplement to nutrient solution on fruit and leaf water potentials in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra. Vertical bars indicate standard error of the mean.

Z Day indicates daytime (PM 0~PM 2), night indicates nighttime (AM 0~AM 2)

第3節 果房の引き上げによる裂果発生の制御

第3章第3節の結果から、夜間是从果実への水分移動が存在することが確認された。したがって、本節においては果実への水分移動を抑制することを目的として、果房を上方へ引き上げることによって、裂果発生の抑制を試みたものである。

材料および方法

供試品種および栽培方法は第4章第2節第2項と同様であった。1995年4月

17日に播種し、5月26日に定植した。定植後の水耕培養液濃度は1.0 uとした。処理区は対照区および果房引き上げ区（ポリエチレン製ロープ（セキスイタフープ）により果房を水平より約45度上方に引き上げる；第4-12図）を設定した。なお、各処理5株を供試した。処理後6日間にわたり裂果発生率（各処理の完熟果実30果にラベルを付け、毎日裂開したかどうかを調査した）を調査し、その間に午前6時における果実の水ポテンシャルを測定した。なお、水ポテンシャルの測定方法は第3章第3節に準じた。



Fig. 4-12. Treatment of pull-up truss in cherry tomato.

結果および考察

果房引き上げ区における裂果発生率は対照区に比べ約2/3に低下する傾向がみられた（第4-13図）。処理を行った果房内の果実の中にはやや萎れ（収縮）がみられたものも存在した。このことは、果実への水分移動が抑制されている可能性を示唆するものであった。また、果実の水ポテンシャルも対照区に比べて、果房引き上げ区において低下しており、果実内の水分が減少していることを示した（第4-14図）。以上の結果から、裂果の発生に対して果房を引き上げることは有効な手法であるように考えられる。

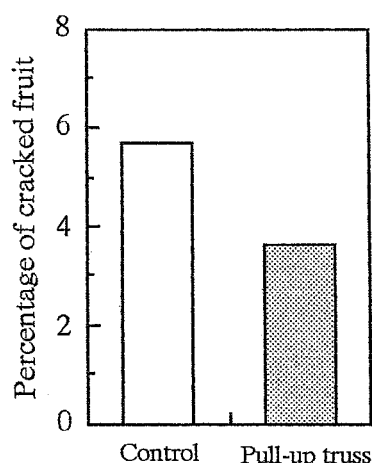


Fig. 4-13. Effect of pull-up truss on the rate of fruit cracking in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra.

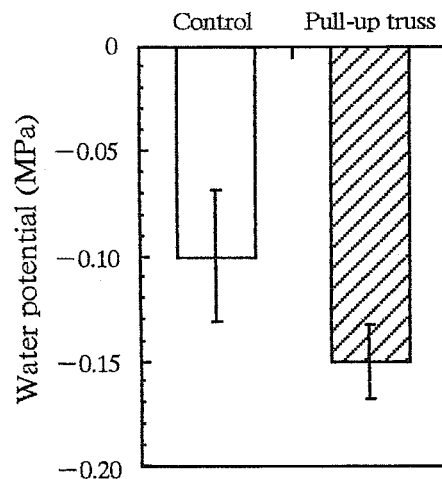


Fig. 4-14. Effect of pull-up truss on water potential of fruit in cherry tomato cv. Sun Cherry Extra. Vertical bars indicate standard error of the mean.

第4節 エスレルおよびアブシジン酸散布が裂果発生に及ぼす影響

ミニトマトは果実数はきわめて多いが、収穫は通常1果ずつ手作業によって行われるため、この収穫作業を合理化する必要があると考えられる。そこで、本節では収穫作業の単純化をはかり、さらにミニトマトそのものの付加価値を高める目的で、果実を房ごと収穫する房収穫法を考案した。ミニトマトの房収穫法に関する研究はまだ少なく、これまでに、果房全体にポリエチレンフィルムの袋をかけることによって、果房周辺の環境条件を均一化して果実の熟度を揃えたり（永井ら、1989；山村、1989、1990）、さらにその袋の中へエチレンを注入することによって房収穫を検討した報告がみられる（永井ら、1989）。

したがって、本節においては房収穫の一手法として果実の成熟促進効果が認められているエチレン発生剤のエスレル（2-chloroethylphosphoric acid）（高橋ら、1973）およびアブシジン酸（abscisic acid；以後ABAと称する）を散布処理し、果房内の果実の熟度を揃え、着色の斉一化をはかることによってミニトマトの房収穫を試みたものである。それと同時に、これら植物生長調整物質が裂果発生に対してどのような影響を及ぼすのか検討した。

材料および方法

供試した品種は第1章の結果から、裂果の発生が少なく比較的食味がよいと判断された‘ミニキャロル’を選定した。本実験における栽培は水耕法によって実施し、その装置は第1節第1章と同様であった。播種は1990年1月5日に行い、定植は2月15日に無加温ガラス室内（2重カーテンおよびトンネルにより最低気温6℃を維持）に行った。培養液の管理およびその他の栽培方法は第1章第1節に準じた。

房収穫を試みるにあたり、‘ミニキャロル’においては通常1果房当たり20果以上となるため1果房内の果実数を制限する必要がある、そのために摘果処理を行った。この摘果処理は果房内の果実を第4-15図に示したようにシングル果房で15果あるいはダブル果房で20果に、果房内の最終果実が催色期に達した時点で行った。次に、摘果処理を行った果房にエスレル 100 ppmおよび200 ppmならびにABA 250 ppmおよび500 ppm（それぞれTween 20 0.05%加用）を処理した。これらの処理の対照区としては15果および20果に摘果した果房に蒸留水（Tween 20 0.05%加用）

を散布する区を設けた。なお、それぞれの処理区は4～6反復で実施した。以上の処理は果房内の果実の半分程度が完熟期に達した時点での1回処理とし、ハンドスプレーにより散布液が果実から流れ落ちる程度まで果房内の果実すべてに散布した。いずれの処理区においても開花期には週2回の割合で15ppm PCPAを散布し、着果および果実の肥大を促進した。

収穫は積算温度（算出方法は第1章第2節と同様）を基準として行い、各果房の第1果が開花日より1200 degreeに達した時点で行った（1990年5月27日～7月25日）。調査項目は果実の色調（L、aおよびb値）、重量、糖度（屈折

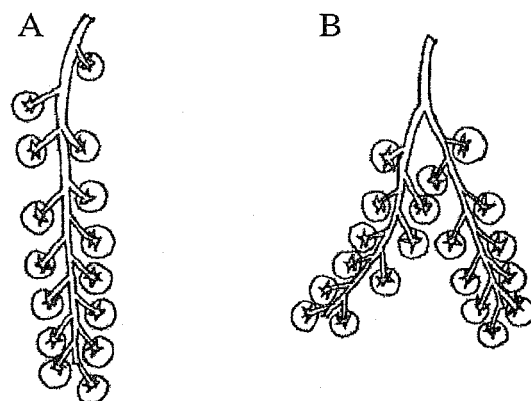


Fig. 4-15. Illustration of trusses after fruit thinning.
A: 15 fruits on single truss, B: 20 fruits on forked truss

計示度)、滴定酸度(クエン酸換算)および硬さ(貫入抵抗値および果肉・果皮の貫通抵抗値;第1-3図)であった。なお、果実特性に関しては第1章第1節と同様な方法で調査した。また、裂果発生率として果房内の全果実数に対する裂果数の割合を調査した。

結果および考察

果実の色調は、15果区および20果区いずれも対照区と比較した場合、エスレルおよびABA処理区においてa値がやや大きくなり(赤味が増し)、逆にb値が小さくなる(黄味が減少する)傾向が認められた(第4-10表)。その結果、a/b値がやや大きくなった。また完熟果(この判断基準は第1章第2節に準じた)率は15果区の場合、エスレルおよびABA処理区が対照区(約80%)に比べて有意に高い値を示した(第4-16図)。一方、20果区の完熟果率は対照区においても90%を越えており、ほぼ果房内の果実の着色が揃っていた。そしてエスレルおよびABA処理によって若干の増加がみられたものの有意な差は認められなかった。

Table 4-10. Effect of Ethrel and abscisic acid (ABA) treatments on color of whole truss-harvested fruit.

No. of fruits per truss	Chemical treatment (ppm)	L	a	b	a/b
15	Dist.water(control)	28.7±1.63 ^z	13.3±2.37	9.8±1.23	1.36±0.290
	Ethrel 100	28.0±0.97	13.8±1.98	9.3±0.73	1.48±0.158
	Ethrel 200	28.6±1.02	14.0±1.86	9.7±0.78	1.44±0.140
	ABA 250	28.3±0.94	15.0±1.49	9.1±0.61	1.64±0.130
	ABA 500	28.4±1.01	14.2±1.81	9.4±0.72	1.51±0.229
20	Dist.water(control)	28.6±0.85	13.7±1.56	9.7±0.74	1.41±0.133
	Ethrel 100	28.3±0.91	13.7±1.72	9.4±0.69	1.47±0.148
	Ethrel 200	28.2±0.88	14.5±1.89	9.5±0.74	1.52±0.198
	ABA 250	28.1±0.71	14.0±1.88	9.3±0.49	1.51±0.132
	ABA 500	28.5±0.91	14.0±1.70	9.5±0.69	1.47±0.128

^z Mean±standard deviation.

房収穫を行った果房内の果実重は各処理区間に一定の傾向がみられず、15果区および20果区いずれも12.7~14.0 gの範囲内であった(第4-11表)。また、果房内の果実重の変異は各処理区ともに20果区の果実が15果区の果実よりも小さ

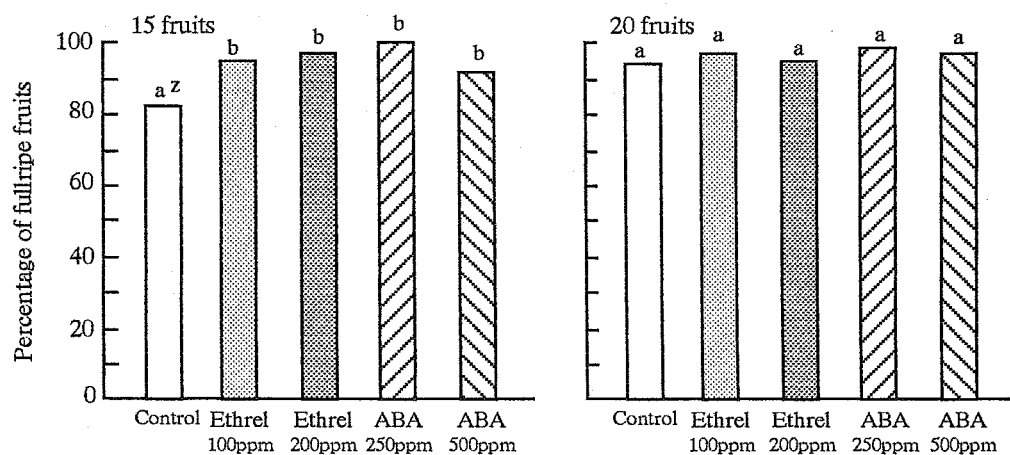


Fig. 4-16. Effect of Ethrel and abscisic acid (ABA) treatments on percentage of full ripe ($a/b > 1.30$)^y fruits in whole truss-harvested fruits.

^z Different letters indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

^y Degree of maturity.

Table 4-11. Effect of Ethrel and abscisic acid (ABA) treatments on weight, soluble solids content and titratable acidity of whole truss-harvested fruit.

No. of fruits per truss	Chemical treatment (ppm)	Weight (g)	Soluble solids content (Brix)	Titratable acidity ^z
15	Dist.water(control)	13.9±2.32 ^y	7.8±0.75	0.49±0.032
	Ethrel 100	14.0±2.55	8.3±0.66	0.47±0.031
	Ethrel 200	13.7±3.46	8.5±0.58	0.50±0.036
	ABA 250	12.7±2.31	9.0±0.77	0.50±0.031
	ABA 500	13.2±2.55	8.1±0.69	0.50±0.038
20	Dist.water(control)	12.7±1.52	8.6±0.82	0.48±0.031
	Ethrel 100	13.4±1.97	8.4±0.51	0.47±0.035
	Ethrel 200	13.0±1.91	9.1±0.71	0.48±0.030
	ABA 250	13.9±1.99	8.7±0.68	0.47±0.036
	ABA 500	12.7±1.61	9.0±0.53	0.47±0.031

^z % as citric acid.

^y Mean±standard deviation.

い傾向を示した。果実の糖度はエスレルおよびABA処理によって対照区より増加する傾向がみられた。しかしながら、処理濃度の影響は明瞭ではなかった。一方、果実の酸度は処理による影響がほとんどみられなかった。

果実の硬さに関しては、貫入応力値、変形量および貫入エネルギー値はいずれも処理による明瞭な差異はみられなかった（第4-12表）。しかしながら、果肉および果皮の貫通抵抗力値についてはエスレルおよびABA処理区において対

Table 4-12. Effect of Ethrel and abscisic acid (ABA) treatments on puncture and penetrating resistances of whole truss-harvested fruit.

No. of fruits per truss	Chemical treatment (ppm)	Penetrating stress (Kg·cm ⁻²)	Penetrating deformation (mm)	Penetrating energy (Kg·cm·cm ⁻²)	Penetrating resistance	
					flesh (Kg·cm ⁻²)	skin (Kg·cm ⁻²)
15	Dist.water(control)	9.2±1.37 ^z	5.6±1.35	2.6±0.78	3.3±1.20	6.3±1.24
	Ethrel 100	8.8±1.48	5.4±1.48	2.3±0.65	2.5±0.96	5.5±1.04
	Ethrel 200	9.3±1.30	5.2±1.03	2.4±0.61	2.9±0.85	5.6±0.93
	ABA 250	9.4±1.50	5.5±1.38	2.6±0.85	2.9±0.58	5.3±1.34
	ABA 500	9.5±2.20	5.2±1.61	2.5±0.97	2.9±0.80	5.6±1.64
20	Dist.water(control)	10.2±1.23	5.3±1.76	2.6±0.59	3.3±0.81	6.1±1.22
	Ethrel 100	9.3±1.35	5.3±1.27	2.5±0.74	2.7±0.76	5.7±1.13
	Ethrel 200	10.0±1.33	5.1±0.80	2.6±0.65	2.6±0.76	6.0±1.10
	ABA 250	9.1±1.35	5.4±0.98	2.5±0.69	2.5±0.74	5.8±1.23
	ABA 500	9.2±1.60	5.2±1.03	2.4±0.70	2.7±0.80	5.5±1.23

^z Mean±standard deviation.

照区に比べやや小さくなる傾向が認められた。

裂果発生率は15果区および20果区ともにそれぞれの対照区において約25%であった（第4-17図）。エスレル処理区の裂果発生率は15果区および20果区いずれも低下傾向を示し、とくにエスレル 200ppm処理区において10%以下の値を示し、対照区に比べ低下した。ABA処理区の裂果発生率は15果区で対照区と同程度ないしはそれ以上、20果区で対照区より低い値を示したが、それぞれ有意な差ではなかった。また、ABA処理区ではエスレルと異なり処理濃度による差が認められなかった。

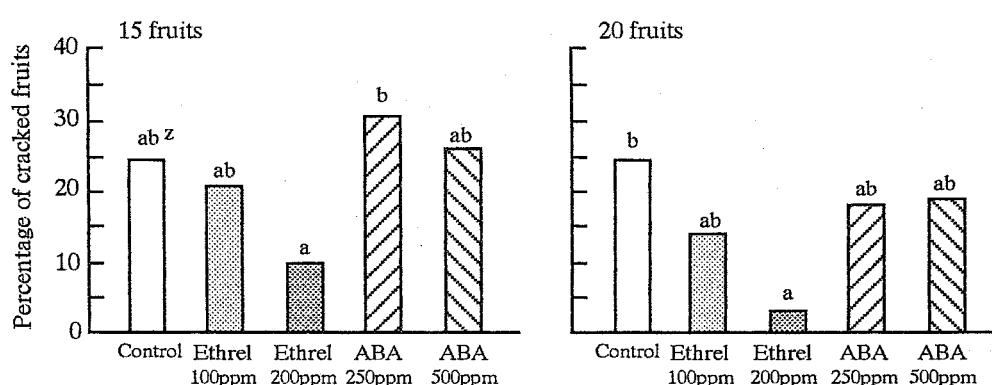


Fig. 4-17. Effect of Ethrel and abscisic acid (ABA) treatments on the rate of fruit cracking in whole truss-harvested fruits.

^z Different letters indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, 5% level.

第5節 総合考察

第1節の結果から、低湿度区の裂果発生率が‘サンチェリー’では2%と極めて低下したこと、また‘アカコッコ’では15%と対照区の40%程度にまで減少したことから、空気湿度の低減が裂果発生を抑制する効果の高いことが明らかとなった。高湿度区において裂果発生率が増加した要因については、まず葉からの蒸散が抑制され、植物体内の水分含量が高くなったことによると考えられる。これは、夜間湿度が80%以上と高くかつ昼夜の気温較差が10℃以上の場合、裂果の発生が多くみられたというDrews (1978) の報告と同様であった。また、高湿度区で果実の裂開長が増大した点に関して、一般に大型トマトでは傷口が濡れた場合に、乾いた場合よりもごく弱い力で開き易いとされているが、ミニトマトにおいてもがく片付着部周辺の表皮にできた小き裂が高湿度条件下で抗張力が弱まり、裂開し易くなったものと考えられる。

次に、湿度によって裂果発生率が変化した要因について、糖度および果実の硬さとの関係を検討したが、糖度には湿度による差が認められなかったことから、差異が認められた果実の硬さに関して考察する。低湿度の場合、果実の貫入応力値、果肉・果皮の貫通抵抗値および果皮の引張り抵抗値がそれぞれ対照区に比べ数値が大きくなった。このことは低湿度条件によって植物体からの蒸散が増加したことにより果実（果肉および果皮）が硬くなり、逆に高湿度の場合には蒸散が少ないため植物体の水分含量が高まったことで果実が軟らかくなったことを示したものと考えられる。すなわち、空気湿度によって果実（果肉および果皮）の硬さに差を生じ、それによって裂果の発生が影響を受けたものと思われる。この実験結果は裂果の発生と果実の硬さとの間には密接な関係があり、硬い果実のトマトほど裂果が少ないという報告（二井内ら、1960；二井内・本多、1961；上村ら、1972）と一致した。とくに本実験の結果は裂果の発生が果実の糖度（圧ポテンシャルと高い関連性を有する）に大差のない場合、果皮強度の影響を受けるという二井内ら（1960）の報告を支持するといえた。ただし、第1章の結果と同様果肉強度もミニトマトの裂果の発生に関しては大きな関連を有することも示されたといえる。

裂果発生の抑制の一手法として、植物体に送風することにより可能であることが認められた。このように送風で裂果の発生が抑制された要因としては、果実周囲の空気の飽差が大きくなり果実表面および葉からの蒸散が促進されたこ

と、ならびに前述した小き裂の乾燥と同時に果実の硬さが関係している。すなわち、送風による空気湿度の低下によって、果皮がやや硬くなったためと考えられる。第1章第2節では地下部条件が異なっており、この場合吸水量の差異などが果肉の硬さに影響を与えたと考えられるが、本章第1節における地上部環境の変動は主に果皮の硬さに影響を与えたものといえる。ただし、送風処理による裂果発生の抑制効果は品種による差異が認められた。具体的には、糖度が高く、果実が軟らかいために裂果の発生が多い‘アカコッコ’のような品種では送風処理によっても果実の硬さは比較的軟らかいままであるために、その効果は十分ではなかったともいえる。

以上の結果から、空気湿度が高いことが裂果発生の一要因であることが認められ、それは果実の硬さに影響を及ぼしていることが示唆された。また裂果の発生を抑制する一つの方法として送風による湿度低減処理は実用的にも極めて効果的であると判断された。

第2節第1項の結果から、高濃度培養液で栽培された果実においては果肉部における浸透ポテンシャルが低下していたことが認められ、吸水力の大きい果実であることが示唆された。また、蒸留水を吸水させた人工裂開試験においても、高濃度培養液で栽培された果実ほど少量の吸水で裂果に至り、裂開しやすくなっていることが示され、またその場合の裂果発生も実際に多かったことが認められた。また、高濃度培養液で栽培した場合、生育初期の段階から果実および葉の水ポテンシャルが低下した。このことは果実および葉の水分含量が少なく、果実および葉の吸水力は比較的早い生育段階から高くなったことを示している。また、果実および葉の水ポテンシャルの日変化、すなわち、植物体内の水ポテンシャルが日中低下し、夜間に高くなったことは、夜間植物体からの蒸散がなく、植物体内の水分含量が高くなっていることを示したものと考えられる。果実における水ポテンシャルの日変化については、カンキツ (Elfving and Kaufmann, 1972) および甘果オウトウ (Tvergyak and Richardson, 1979) でも同様な報告がみられる。さらに、果実および葉の水ポテンシャルの日変化についてもセイヨウナシで同様な変動パターンが認められている (山本ら, 1980)。また、本実験の結果から判断して、この水ポテンシャルの変動傾向は高濃度区ほど顕著であり、昼間植物体の水ポテンシャルが低下しているほど、夜間に多く吸水したことが示唆された。さらに、果実の水ポテンシャルは、昼間の多くの時間帯で葉の水ポテンシャルより高い数値を示し、夜間における葉

の水ポテンシャルは、果実の水ポテンシャルより高い値を示した。この結果は、昼間には多くの水分が果実から葉に移動し蒸散したが、夜間から早朝にかけては葉からの蒸散がないためにより葉の水分含量が高くなっていることを示唆している。したがって、葉からの蒸散がほとんどない夜間において吸水により果実内の圧ポテンシャルが高くなった結果、裂果が誘発されたことが示唆される。

Milad and Shackel (1992) は 'French' プルーンにおいて果実の高い圧ポテンシャルによって裂果が発生したと報告している。また、山本ら (1990) もオウトウにおいて高い圧ポテンシャルは裂果発生危険性が高いと考察している。本実験において、高い水耕培養液濃度で栽培したミニトマト果実は水ポテンシャルの低下以上に浸透ポテンシャルが低下したことにより、果実の圧ポテンシャルが高まったことによることが明らかになった。このことは夜間においてより顕著であり、より果実の圧ポテンシャルが上昇し裂開しやすくなっていることを示した。また、晴天日と比較して、雨天日における果実の水ポテンシャルの増加は、水耕培養液濃度が高いほど大きくなった。この結果は、雨天日に 2.0 u 区における果実の圧ポテンシャルが 0.5 u 区より高く裂開しやすい状態にあったことを示唆するものであり、雨天日ほどまた高濃度培養液ほど裂果の発生が多くなる可能性を示唆した。

以上の結果から、裂果の発生には植物体内の水分状態が大きく関与しており、とくに夜間における果実の圧ポテンシャルの上昇が直接的に影響を及ぼしていることが示され、それは高濃度培養液条件下において顕著であることが認められた。裂果発生の抑制を考慮した場合、低濃度培養液の方が望ましいと考えられるが、食味が低下するなどの問題が生じてくる。したがって、裂果の発生と食味との点を総合的に判断した培養液濃度の設定をする必要があると思われる。

第2節第1項の結果から、裂果の発生は果実および葉の水ポテンシャル勾配による昼夜間の水分の移動により生じたことが確認された。そこで、第2節第2項では夜間に低浸透ポテンシャル溶液により栽培し、水分を吸収させないように試みたものである。その結果、PEG添加処理によって、裂果の発生は十分には制御できたとは言いが、コムギ植物体の吸水が抑制された結果 (Erlandsson, 1975) から、その可能性は十分あるように考えられる。本実験の結果は、山田・村瀬 (1994) が示唆したように夜間において低浸透ポテンシャル培養液によって植物体の吸水を抑制することによって、裂果の発生が制御できる可能性を提示したものであるといえる。しかし、植物体の吸水抑制に

対するPEG添加濃度およびPEGを添加する時間帯などについてはさらに検討が必要であると考えられる。今後、昼夜間の水ポテンシャル勾配の平準化などの方策を考案することにより、より効果的な裂果発生の制御が可能となるであろう。

第3節においても、これまでの結果に基づいて、果実への水分移動を抑制することによって裂果の発生を抑制しようと試みたものである。果房の引き上げによる効果は裂果の発生に対して有効であるように考えられたが、実際栽培上は引き上げの時期を考慮しなければ収穫できる果実数の減少などの問題が生じてくると思われる。さらには、果房の引き上げ角度なども検討の余地があると思われる。

第4節においては、収穫の合理化を目的として、エスレルおよびアブシジン酸処理により房収穫法を検討し、かつ裂果発生に及ぼす影響を調査したものである。エチレンは果実の成熟を促進する生長調整物質であり、果実の成熟過程においてクライマクテリック型の呼吸反応を示す大型トマトおよびミニトマトの果実は成熟につれて内生エチレン量が増加するという報告がある (Abdel-Rahman, 1977 ; 水野, 1971) 。さらにエチレンを発生させる薬剤であるエスレルによる果実の成熟促進効果に関してもこれまでに数多くの研究がみられる (高橋ら, 1973) 。また、ミニトマトの房収穫法を検討した永井ら (1989) の研究においても袋内のエチレンガスが着色に有効であったことを認めている。本実験においてもエスレルを散布処理した果房内の果実の色調を調査した結果、a 値の平均値が高く (赤色が濃く) なった。すなわち、成熟が促進されたことによって果実の着色が揃ったといえる。また果実の糖度はエスレル処理によって高くなる傾向が認められ、さらに果肉および果皮の硬さも低下したことから、果房内の果実の熟度はエスレル処理によって斉一化されることが認められ、松野ら (1994) の実験結果も本実験と同様な結果が確認されている。ABAによる果実の成熟促進効果に関しては、これまでの研究からいくつかの果実において認められており (Mizrahi et al., 1975 ; Abdel-Rahman, 1977 ; Kano and Asahira, 1981 ; 平ら, 1988) 、果実の成熟にはABAが関与しているものと考えられる。本実験においても果実の色調、糖度および果肉・果皮の硬さの結果から考えた場合、ABAを散布処理することによって、果実の成熟促進に対する効果が認められた。なお、ブドウにおいては果実の着色だけが促進されたという報告がある (平ら, 1988) が、本実験においては果実の糖度もやや

増加しており、この報告とは異なった結果を示した。この点に関してはさらに検討を要すると思われる。

裂果の発生に関しては、エスレル処理区において対照区より減少する傾向が認められたが、ABA処理区においては対照区と同等程度であった。すなわち、裂果発生に対してはエスレルとABAは作用性がやや異なるのではないかと判断された。一方、ABAの影響については、ABAはブドウの裂果には影響しないとする平ら（1988）の報告と同様な結果が得られた。また、シングル果房とダブル果房を比較した場合、処理効果は1果梗当たりの果実数が少ないダブル果房の方がより顕著であった。したがって、房収穫に適した品種特性としては短果梗でダブル果房のものが望ましいといえる。また、近年無側枝、短果柄などの省力形質を付与したミニトマト品種の育成が試みられており（矢ノ口ら、1994；元木ら、1995）、今後房収穫が可能な品種の作出が期待される。

以上の結果から、ミニトマトの房収穫法に関してはエスレル 200 ppmの散布処理が最も効果的であり、裂果の発生も少なく、房収穫の可能性が高いことが示唆された。この方法は、既報（永井ら、1989；山村、1989）の房収穫法に比べ、摘果後1回の散布処理で房収穫が可能であることから簡易で優れていると思われる。

第6節 摘 要

水耕ミニトマトにおいて、裂果発生を制御するための栽培方法を検討した。

1. ‘サンチェリー’ および ‘アカコッコ’ において空気湿度が裂果の発生に及ぼす影響を検討した。湿度を3段階（対照、低湿度および高湿度区）に変えた結果、裂果の発生は両品種とも低湿度区において減少し、逆に高湿度区において増加した。裂開長および裂開長率は低湿度区において小さく、高湿度区において大きかった。果実の硬さに関して、貫入応力値、果肉・果皮の貫通抵抗値および果皮の引張り抵抗値は低湿度区が高い値を示し、果実がやや硬くなった。

裂果の発生を抑制するために、送風処理を行った結果、裂果の発生は両品種とも減少した。裂開長および裂開長率も両品種ともに送風区において小さくなった。果実の硬さに関して、送風区で貫入応力値、果皮の貫通抵抗値が高くなる傾向が認められた。

2. ‘サンチェリー’における培養液濃度と裂果発生との関係を水分生理学的側面から検討した。定植10日後から収穫終了まで、標準濃度の0.5、1.0および2.0倍の培養液で栽培した。その結果、培養液濃度が高いほど裂果発生が増加した。高濃度区の果実ほど果肉部分における浸透ポテンシャルが低下していた。吸水による人工裂開試験では、高濃度区における果実ほど裂果が多く発生し、果実の膨張率が高くなり、吸水能力が高いことを示した。また、高濃度区ほど果実重は減少したが、果実の糖度は高くなった。この場合、果実および葉の水ポテンシャルは低下した。果実および葉の水ポテンシャルの日変化は高濃度区ほど大きかった。果実の浸透ポテンシャルは高濃度区ほど低下した。それに伴い、圧ポテンシャルは高濃度区ほど高くなった。さらに果実の圧ポテンシャルは昼間（午後2時）より夜間（午前2時）に上昇した。晴天日と比較した場合、雨天日における果実および葉の水ポテンシャルは上昇し、植物体の水分が過多になっていることを示した。また、高濃度区ほど果実の水ポテンシャルが上昇し、水分状態の変動が大きかった。

3. 低浸透ポテンシャル溶液（標準濃度液にPEG40 mM添加区およびPEG90 mM添加区）に夜間（午後9時～午前9時）株を移動することによって、裂果発生の制御を試みた。その結果、PEG90 mM添加区において夜間における植物体の果実および葉の水ポテンシャルが低下し、吸水が抑制されたことによって、裂果の発生が抑制される傾向が認められた。

4. 果房を引き上げることにより、果実への水分移動を抑え裂果の発生を抑制しようと試みた。その結果、裂果発生率が対照区の約2/3に低下し、有効であることが認められた。

5. エスレルおよびアブシジン酸（ABA）によりミニトマトの収穫労力の合理化と付加価値を高めるために房収穫法を検討し、あわせて裂果発生に対する影響を調査した。‘ミニキャロル’を供試し、15果（シングル果房）および20果（ダブル果房）に予め摘果した果房においてエスレル100、200 ppmおよびABA 250、500 ppm散布処理を行った。その結果、エスレルおよびABA処理いずれの処理によっても果実の着色が促進され、果房全体の果実の着色程度が斉一化された。また、果実重および酸度にはあまり影響がなかったが、果実の糖度はいずれの処理でも増加する傾向を示した。果肉および果皮の硬さも低下する傾向がみられ、果房内の果実の熟度が促進されることが認められた。裂果の発生はエスレル処理によって減少する傾向がみられ、とくにエスレル200 ppm処理区

では10%以下となった。一方、ABA処理区では対照区と同程度の20～25%の裂果発生がみられた。以上の結果から、ミニトマトの房収穫法としてはエスレル 200 ppm散布処理が最も効果的であることが示唆された。

第5章 総 括

ミニトマトは大型トマトとは異なり果物的要素を備えていることが必要であり、果実品質に対する評価が厳しい果菜の一つである。したがって、可能な限り高糖度で食味の良い果実の生産が望まれている。しかし、収穫時期の天候条件あるいは品種自体の特性および食味向上を目的とした収穫時期の延長などの理由から裂果の発生が多く、経営上その損害は非常に多大なものがある。とくに湛液水耕法で栽培した場合、植物体の根が常時培養液に浸漬しているため、植物体は吸水しやすい条件下におかれており、より裂果に結びつきやすい。

ミニトマトの裂果は大部分が側面裂果であり、他の種類の裂果はほとんどみられない。ミニトマトの側面裂果は完熟期においてのみ発生し、果肉まで深く裂開し種子を露出する場合もみられる。しかし、これまでにミニトマトの裂果発生の要因解明を試みた報告は極めて少ない。したがって、本論文においてはミニトマトにおける裂開現象の把握および裂果発生に関わる要因の解明とその制御について検討した。

1. 裂果発生の品種間差異を果実特性の面から検討した。その結果、裂果発生には大きな品種間差異がみられ、その要因は果実の糖度、浸透ポテンシャルおよび果肉・果皮の硬さが相互に関与しており、単独では説明が困難であることが認められた。ミニトマトの裂果は果肉部分にも裂開が生じることから、果皮のみならず果肉の硬さが関与しており、果肉が軟らかい品種ほど裂果の発生が多いことが認められた。

また、ミニトマト果実の食味向上のために水耕培養液濃度を標準濃度の2倍に高めた場合、裂果の発生が増加することが認められた。その要因は高濃度培養液で栽培して得られた果実ほど高糖度、低浸透ポテンシャルおよび果肉硬度の低下などであることが明らかとなった。培養液濃度の違いにより培地の浸透ポテンシャルが異なり、植物体の吸水量に差を生じた結果、果実の糖度および果肉の硬さなどに差異を生じたものと考えられる。また、高濃度培養液で栽培して得られた果実ほど少ない蒸留水の注入量（体積当たり）で裂果が発生したことから、高濃度培養液で栽培して得られた果実は極めて裂開しやすい状態になっていた。

著者はこれまでにミニトマト果実の糖度は熟度が進むほど高くなったことを明らかにしており、食味の点からは可能な限り果実を樹上におき収穫時期を遅

らせることが望ましいと考えられるが、この場合裂果の発生が増加することが観察されている。そこで、開花から成熟までおよび開花から裂果に至るまでの積算温度を調査したところ、裂果発生率が高い品種ほどいずれの積算温度も小さく、裂果発生率と高い負の相関関係を示した。このことは裂果発生率が高い品種ほど成熟から裂果までの期間が短く、成熟後短期間で裂果に至りやすいことを示したものである。逆に、この期間が長い品種例えば‘ミニキャロル’などは裂果の発生も少なく、かつ食味の向上も期待でき、生産者には作りやすい品種であるといえる。

2. ミニトマトの裂開を形態学的に把握することを目的として実験を行った。まず、裂開発生の起点であるがく片付着部周辺の表皮に発生した小き裂の数および長さを調査した結果、裂果発生率が高い品種ほど小き裂が早く発達し、その数も多かった。また、果実球周長に対する最大小き裂長の割合が大きい品種ほど裂果発生率が高く、これを調査することによって裂果発生率の多少を評価することが可能であると考えられる。さらに、裂果発生率が低い品種に比べて高い品種はがく片周辺部の表皮細胞が大きく果皮が軟らかいことが示唆され、展張力が働いた場合に表皮に小き裂ができやすいことが推察される。

土耕で栽培した場合に比べ水耕で栽培した場合、裂果の発生が増加することが認められた。この場合、未裂果では果実の果肉細胞の大きさは土耕に比べて水耕の方が大きかった。未裂果に対して裂果した果実の果肉細胞の肥大割合は土耕より水耕果実の方が小さかった。このことは、水耕果実の方が少量の吸水で裂果に至ることを示唆したものといえる。また、水耕において、実際栽培では裂果が発生することがない催色期の果実では吸水による果肉細胞の肥大割合は10%以下と少なかったが、裂果の可能性を有する完熟果では約20%と大きく肥大した。このことから、果肉細胞は吸水によって少なくとも10%以上肥大した場合、裂果に至ることが多いと推察される。さらに、実際の裂開部位を観察したところ、裂開は細胞が破壊されたものではなく、主に細胞壁間が分離したことが認められた。これは吸水によって果肉細胞が肥大することにより物理的に弱い細胞壁間が分離したものと考えられる。また、裂果発生の進行過程をビデオカメラでとらえると、裂開は小き裂の部分から始まり、約2分間で生じたことが観察された。

3. なぜ果実の果肉細胞が肥大し裂果が生じるのかその要因を解明するために、まず裂果が発生する時間帯を調査した。その結果、早朝5～7時に多く発生し、

昼間にはほとんどみられなかった。側面裂果は内部からの圧力により生じると仮定した場合、果実横径には日変化が存在するであろうと推察される。実際に完熟果実の横径を測定した結果、裂果が発生する時間帯に果実が膨張することが明らかとなった。その後、昼間には果実は収縮し、夕方から再度膨張することが認められた。さらに、植物体内（茎、果柄および葉柄）の水分移動量の日変化を測定した結果から、この果実横径の日変化は夜間から早朝に果実に水分が流入したことによって膨張し、昼間には果実から水分が流出することにより収縮したことによって生じたものと考えられる。ここで、夜間茎における水分移動はわずかながら認められたこと、また夜間葉からの脱水現象も認められたことから、果実に流入した水分は根からの吸収あるいは葉からの転流によるものと推察される。

上記の結果から、夜間から早朝に果実に水分が流入した場合、水分が果肉細胞を肥大させ、その圧力が裂果を生じさせるものと考えられる。したがって、暗期において葉から蒸散を生じさせ、果実へ流入する水分を減少させることを目的として光照射（照度 6000 lux）を行った結果、裂果の発生が対照区の40%以下に低下した。

果実および葉からの蒸散と裂果発生との関係を検討した。その結果、果実からの蒸散量は葉からの蒸散量の1/10~1/20と極く微量であったが存在した。また、果皮にグリースを塗布した場合、裂果の発生が早まったことから、果皮からの蒸散は裂果の発生に関与していることが認められた。したがって、裂果発生には果実からの蒸散も関連しており、裂果発生制御を目的として植物体の水分量を減少させるためには葉および果実からの蒸散を促進させる手法を検討する必要があると考えられる。

4. これまでの実験結果に基づき、裂果の発生を制御するための栽培方法を検討した。裂果発生制御のための栽培方法としては、大きく2つに分けて考えることができる。1つは地上部の管理として葉および果実表面からの水分流出を促進することであり、もう1つは地下部の管理として根からの吸水を抑制し、果実に余分な水分を流入させないことである。

そこでまず、植物体内の水分を制御するために環境要因の一つである空気湿度を制御することによって裂果の発生への影響を調査した。その結果、空気湿度を低減した場合、裂果の発生が低下した。一方、高湿度条件下では裂果の発生が増加した。この要因は低湿度により植物体の蒸散が増加し体内の水分含量

が減少したことと、それに伴い果皮が硬くなったことによるものと考えられる。したがって、次に実用的手法として植物体に送風処理を行うことによって裂果の発生の制御を試みた。その結果、裂果発生を低下させることが可能であった。この要因としては、植物体周囲の飽差を大きくすることにより、蒸散を促進させ植物体内の水分を減少させるとともに果皮を硬くしたこと、また小き裂を乾燥硬化させることによりその拡大を抑えたことであると推察される。

また、水耕培養液の濃度を変えて、すなわち培地の浸透ポテンシャルを変えることによって植物体の吸水量を制御し、裂果発生への影響を調査した。その結果、培養液濃度が高いほど裂果発生は増加し、逆に培養液濃度が低い場合裂果の発生は低下した。この要因としては、高濃度培養液で栽培して得られた果実ほど小さく、糖度が高く、その水ポテンシャルも生育初期から低下しており、吸水力が大きいことが示された。果実および葉の水ポテンシャルの日変化は高濃度培養液区ほど大きく変動し、植物体内の水分状態の変化が大きいことが示唆された。これは昼間の吸水量が高濃度区ほど少ないため、相対的に昼夜間の水ポテンシャルの差異が大きくなったものと考えられる。とくに夜間における圧ポテンシャルは高濃度培養液区ほど大きく、裂果しやすい状態になっていることが認められた。さらに、人工裂開試験によって高濃度培養液で栽培して得られた果実ほど少量の吸水で裂果に至ったことが示され、裂開しやすい状態であったことが示唆された。したがって、以上の結果から、水耕培養液濃度によって裂果の発生を制御することが可能であった。ただし、裂果発生低減のために低濃度培養液で栽培した場合、糖度が低いため食味が低下するなどの問題が生じるため、実際栽培では培養液濃度の設定にはさらに詳細な検討を必要とするであろう。

夜間の吸水を抑制することを目的として、低浸透ポテンシャル（PEG）溶液に株を移動させた結果、PEG 90 mM添加溶液で裂果の発生が対照区の約2/3に低下した。また、果房を水平より約45度引き上げることによって果実への水分流入を抑制することを試みた結果、裂果の発生は低下し、有効であることが認められた。

さらに、熟期を促進させる作用を有するエスレルおよびアブシジン酸の散布処理を行うことによって、ミニトマトの房収穫を試みるとともに、裂果発生に対する影響を調査した。その結果、とくにエスレル200 ppm散布処理が有効であり、ほとんど裂果の発生がないまま房収穫が可能であり、実用的に収穫労力

の合理化から考えても有効な手法であることが認められた。

以上の本論文の結果から、ミニトマトにおける裂果の発生は植物体内の水分移動が主たる要因であることが解明された。ミニトマトの果実は高糖度で、かつ低浸透ポテンシャルおよび低水ポテンシャルであるため、水分の吸引力は比較的大きく、また食味の点から果肉および果皮が極端に硬くない品種が育成されているため、裂果発生起点である小き裂も比較的発生しやすく、そのために裂果が発生しやすいものと結論づけられる。したがって、裂果発生を制御するためには、植物体内の水分を少なくする方策あるいは植物体内に余分な水分を入れない方策をいくつか検討した。実用的には送風処理などが比較的簡便で有効であろうと考えられる。また、今後育種的には果実表皮からの水分蒸散の多い品種の育成なども検討する必要があるであろうと考えられる。

引用文献

- Abbott, J. D., M. M. Peet, D. H. Willits, D. C. Sanders and R. E. Gough. 1986. Effects of irrigation frequency and scheduling on fruit production and radial fruit cracking in greenhouse tomatoes in soil beds and in a soil-less medium in bags. *Scientia Hort.* 28 : 209—217.
- Abdel-Rahman, M. 1977. Patterns of hormones, respiration and ripening enzymes during development, maturation and ripening of cherry tomato fruits. *Physiol. Plant.* 39 : 115—118.
- Alarcón, J. J. M. C. Bolarín, J. Sánchez-Blanco and A. Torrecillas. 1994. Growth, yield and water relations of normal fruited and cherry tomato cultivars irrigated with saline water. *J. Hort. Sci.* 69 : 283—288.
- Andersen, P. C. and D. G. Richardson. 1982. A rapid method to estimate fruit water status with special reference to rain cracking of sweet cherries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107 : 441—444.
- 青木宏史. 1986. 特集ミニトマト 栽培特性と経営・技術のポイント. 野菜園芸技術 11 : 13—19.
- 荒木陽一・五島 康. 1987. プレッシャーチャンバー法のトマト小葉への適用. 園学雑. 56 : 328—333.
- 荒木陽一. 1993. 温室栽培トマトの葉の水ポテンシャルの個体間変異とその影響因子. 園学雑. 62 : 113—119.
- 朝倉利員. 1993. 茎熱収支法によるメロン果実への水分移動量の測定. 園学雑. 62 (別1) : 294—295.
- 朝倉利員. 1994. メロン果実重変化の測定法と果実重変化の水ストレス指標としての有効性. 園学雑. 63(別1) : 272—273.
- Bakker, J. C. 1988. Russeting (cuticle cracking) in glasshouse tomatoes in relation to fruit growth. *J. Hort. Sci.* 63 : 459—463.
- Barrs, H. D., B. Freeman, J. Blackwell and R. D. Ceccato. 1970. Comparisons of leaf water potential and xylem water potential in tomato plants. *Aust. J. Biol. Sci.* 23 : 485—487.
- Batal, K. M., J. L. Weigle and D. C. Foley. 1970. Relation of stress-strain properties of tomato skin to cracking of tomato fruit. *HortScience* 5 : 223

- Batal, K. M., J. L. Weigle and N. R. Lersten. 1972. Exogenous growth-regulator effect on tomato fruit cracking and pericarp morphology. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97 : 529—531.
- Boyer, J. S. 1969. Measurement of the water status of plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 20 : 351—364.
- Brown, G., S. Wilson, W. Boucher, B. Graham and B. McGlasson. 1995. Effects of copper-calcium sprays on fruit cracking in sweet cherry (*Prunus avium* L.). Scientia Hort. 62 : 75—80.
- Caspari, H., M. H. Behboudian, D. J. Chalmers and A. R. Renquist. 1993. Pattern of seasonal water use of asian pears determined by lysimeters and the heat-pulse technique. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118 : 562—569.
- Considine, J. A. and P. E. Kriedemann. 1972. Fruit splitting in grapes : Determination of the critical turgor pressure. Aust. J. Agric. Res. 23 : 17—24.
- Dickinson, D. B. and J. P. McCollum. 1964. The effect of calcium on cracking in tomato fruits. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 84 : 485-490.
- Drews, M. 1978. Der einfluß klimatischer wachstumsfaktoren auf das platzen von tomatenfruchten. Arch. Gartenbau. 26 : 271—277.
- Ehret, D. L. and L. C. Ho. 1986. Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit. J. Exp. Bot. 37 : 1294—1302.
- Ehret, D. L., T. Helmer and J. W. Hall. 1993. Cuticle cracking in tomato fruit. J. Hort. Sci. 68 : 195—201.
- Elfving, D. C. and M. R. Kaufmann. 1972. Diurnal and seasonal effects of environment on plant water relations and fruit diameter of citrus. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97 : 566—570.
- Erlandsson, G. 1975. Rapid effects on ion water uptake induced by changes of water potential in young wheat plants. Physiol. Plant. 35 : 256—262.
- Frazier, W. A. 1934. A study of some factors associated with the occurrence of cracks in the tomato fruit. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 32 : 519—523.
- Frazier, W. A. 1935. Further studies on the occurrence of cracks in tomato fruits. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 33 : 536—541.

- Frazier, W. A. and J. L. Bowers. 1938. Varietal, climatic and age influences on daily cracking induced of tomato fruits. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 36 : 746.
- Frazier, W. A. and J. L. Bowers. 1947. A final report on studies of tomato fruit cracking in Maryland. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 49 : 241-255.
- 舟越利弘. 1989. ミニトマトの品種選定と良品生産技術. *農耕と園芸* 44(2) : 81-83.
- Glenn, G. M. and B. W. Poovaiah. 1989. Cultivar properties and postharvest calcium applications influence cracking of sweet cherries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117 : 781-788.
- Gough, C. and G. E. Hobson. 1990. A comparison of the productivity, quality, shelf-life characteristics and consumer reaction to the crop from cherry tomato plants grown at different levels of salinity. *J. Hort. Sci.* 65 : 431-439.
- Hankinson, B. and V. N. M. Rao. 1979. Histological and physical behavior of tomato skins susceptible to cracking. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104 : 577-581.
- Hobson, G. E. and L. Beoford. 1989. The composition of cherry tomatoes and its relation to consumer acceptability. *J. Hort. Sci.* 64 : 321-329.
- 穂波信雄・村瀬治比古・滝川 博・西浦芳史・西島 巧・山田久也. 1991. ミニトマトにおける裂果のメカニズム. *農業機械学会関西支部報*. 70 : 147-148.
- 林 圭脛・房 薇・岩尾俊男・藤浦建史・竹山光一. 1993. 養液栽培システムの改善に関する研究 (II) - トマトの生長量と溶存酸素量及び蒸散流量との関係 -. *島根大農研報*. 27 : 33-37.
- 今井俊治・岩尾憲三・藤原多見夫. 1991a. ブドウの生体情報の測定と解析による土壌水分管理法の指標化 (第2報) 生育段階における茎径ならびに果粒肥大の日変化特性. *生物環境調節* 29 : 11-17.
- 今井俊治・岩尾憲三・藤原多見夫. 1991b. ブドウの生体情報の測定と解析による土壌水分管理法の指標化 (第3報) 土壌の乾燥と茎径ならびに果粒肥大の日変化特性. *生物環境調節* 29 : 19-26.
- 位田藤久太郎・橘 昌司・藤城好信. 1970. 被覆下栽培における肥培の研究 (第1報) そ菜の塩類高濃度障害について (1) 高浸透圧培地における果菜の生育ならびに水分吸収. *園学雑*. 39 : 45-49.
- 伊藤裕朗・村上 実・河合伸二. 1990a. ミニトマトの生産安定に関する試験 (第1報) 品種、栽培及び環境条件と裂果の発生について. *愛知農総試研報*.

- 伊藤裕朗. 1990b. ミニトマトの生産安定と品質向上. 施設園芸 32(11): 56-59.
- 伊藤憲弘・寺田俊郎・高橋亮正. 1979. 加工用トマト果実の物理的性質に関する研究 果実の形態的性質と貫入抵抗力について. 島大農研報. 13: 12-19.
- 伊藤憲弘・上田敏晴・寺田俊郎・長子晴保. 1981. 加工用トマト品種の一斉収穫適応性に関する研究 果実の硬さと圃場貯蔵性について. 島大農場研報. 3: 17-30.
- 伊藤憲弘. 1984. 加工用トマト果実の力学的性質に関する研究—特に果実の硬さと一斉収穫適応性について—. 島大農場特報. 1: 1-160.
- 岩永秀人・寿松木章・村上ゆり子・間苧谷徹. 1987. 熱伝対法とプレッシャー・チャンバー法によるナシ果実の水ポテンシャルの測定について. 果樹試報A. 14: 49-56.
- Kadoya K., K. Mameda, S. Chikaizumi and K. Matsumoto. 1975. Studies on the hydrophysiological rhythms of citrus trees 1. Cyclic fluctuations of leaf thickness and stem diameter of natsudaikai seedlings. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 44: 260-264.
- 上村昭二・吉川宏昭・伊藤喜三男. 1972. トマトの裂果に関する研究. 園試報C (盛岡). 7: 73-138.
- Kano, Y. and T. Asahira. 1981. Roles of cytokinin and abscisic acid in the maturing of strawberry fruits. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 50: 31-36.
- Klepper, B. and R. D. Ceccato. 1969. Determinations of leaf and fruit water potential with a pressure chamber. Hort. Res. 9: 1-7.
- Koske, T. J., J. E. Pallas, Jr. and J. B. Jones, Jr. 1980. Influence of ground bed heating and cultivar on tomato fruit cracking. HortScience 15: 760-762.
- Malis-Arad, S., S. Didi, Y. Mizrahi and E. Kopeliovitch. 1983. Pectic substances: changes in soft and firm tomato cultivars and in non-ripening mutants. J. Hort. Sci. 58: 111-116.
- Marshall, D. C. 1958. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. Plant Physiol. 33: 385-396.
- 榊田正治・瀧口 武・松原幸子. 1989. 培養液濃度がトマトの収量と品質及び養液成分の濃度変化に及ぼす影響. 園学雑. 58: 641-648.
- 松野 篤・木下耕一・小野健一・加藤成二・保坂 淳. 1994. 摘蕾および植物生

- 育調節剤処理によるミニトマトの房どり法. 山梨総合農研報. 6: 21-29.
- Milad, R. E. and K. A. Shackel. 1992. Water relations of fruit end cracking in French prune (*Prunus domestica* L. cv. French). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 824-828.
- Mizrahi, Y., H. C. Dostal., W. B. McGlasson and J. H. Cherry. 1975. Effects of abscisic acid and benzyladenine on fruits of normal and rin mutant tomatoes. Plant Physiol. 56: 544-546.
- 水野 進. 1971. 20℃定温下でのトマト追熟にたいする炭酸ガスならびに酸素の影響. 園学雑. 40: 292-299.
- 望月英雄. 1986. ミニトマトの品種と栽培. 施設園芸 28(5): 50-52.
- 望月英雄. 1987. ミニトマトの栽培法. 農業技術研究 41(1): 35-37.
- Moorby, J. 1994. 植物における輸送系と生長 (堀裕訳). p. 81-116. 博夕社. 東京.
- 元木 悟・伊藤喜三男・矢ノ口幸夫・岡本 潔. 1995. ミニトマトの省力収穫向き品種の育成に関する研究 (第2報) 人工裂果検定法による耐裂果性の品種間差異. 園学雑. 64(別1): 208-209.
- Murase, H. 1981. Fruit water potential change related to tomato fruit cracking. Bull. Univ. Osaka. Pref., Ser. B. 33: 61-66.
- 村瀬治比古. 1990. ミニトマトの裂果と水分状態のセンシング 農業機械の知能化をめざして (第1回) 農業機械におけるセンシング技術. 農業機械学会シンポジウム. p. 33-40.
- 村瀬治比古. 1991. 裂果のしくみ. 施設園芸 33(5): 15-17.
- 村瀬治比古・山田久也・西浦芳史・穂波信雄. 1993. ミニトマト裂果現象の有限要素解析. 植物工場学会誌 4: 139-147.
- 永井耕介. 1988. ミニトマトの品質特性と抑制裁培のポイント. 農耕と園芸 43(7): 74-77.
- 永井耕介・吉川年彦・澤 正樹・中川勝也・田中平義. 1989. ミニトマトの品質と栽培に関する研究 第2報 ミニトマトの房どり収穫技術. 兵庫県中央農技センター研報 (農業編). 37: 29-34.
- 長野敏英. 1988. 植物個体の生理機能の計測. p. 118-123. 大政謙次・近藤矩朗・井上頼直編. 植物の計測と診断. 朝倉書店. 東京.
- 二井内清之・本多藤雄・太田成美. 1960. トマトの裂果に関する研究 (第1報) 裂果の機構について. 園学雑. 29: 35-41.

- 二井内清之・本多藤雄. 1961. トマトの裂果に関する研究 (第2報) 品種と裂果. 園学雑. 30: 9-14.
- 二井内清之. 1963. トマトの裂果に関する研究. 園芸試験場報告D. 1: 117-154.
- 糠谷 明・外山和広・赤川英司. 1994. 温室メロンのロックウール栽培における蒸散モデル式による灌液量制御. 園学雑. 63(別1): 266-267.
- 大石直記・石田伸治. 1994. トマトの茎径測定によるしおれの評価. 園学雑. 63(別1): 276-277.
- 太田勝巳・伊藤憲弘・高橋亮正・小数賀仁也. 1987. 水耕におけるミニトマトの品種特性に関する研究, 特に開花及び果実特性について. 島大農場研報. 9: 18-23.
- Ohta, K., N. Ito, T. Hosoki and Y. Sugi. 1990. Influences of potassium chloride and potassium sulphate supplement on fruit quality, yield and plant growth of cherry tomato in solution culture. Bull. Fac. Agr. Shimane Univ. 24: 252-257.
- 太田勝巳・伊藤憲弘・細木高志・東村英幸. 1991. 水耕ミニトマトの果実品質および収量に及ぼす培養液濃度と塩類処理の影響. 園学雑. 60: 89-95.
- Pearce, B. D., R. I. Grange and K. Hardwick. 1993a. The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. J. Hort. Sci. 68: 1-11.
- Pearce, B. D., R. I. Grange and K. Hardwick. 1993b. The growth of young tomato fruit. II. Environmental influences on glasshouse crops grown in rockwool or nutrient film. J. Hort. Sci. 68: 13-23.
- Peet, M. M. 1992. Fruit cracking in tomato. HortTechnology 2: 216-223.
- Peet, M. M. and D. H. Willits. 1995. Role of excess water in tomato fruit cracking. HortScience 30: 65-68.
- 桜谷哲夫. 1983. 蒸発散の測定法 (II) . 農業気象. 39: 121-123.
- Sakuratani, T. 1990. Measurement of the sap flow rate in stem of rice plant. J. Agr. Met. 45: 277-280.
- 沢田英吉. 1931. 桜桃実割れに関する研究. 農及園. 41: 1379-1380.
- Smith, C. J. S., C. F. Watson, P. C. Morris, C. R. Bird, G. B. Seymour, J. E. Gray, C. Arnold, G. A. Tucker, W. Schuch, S. Harding and D. Grierson. 1990. Inheritance and effect on ripening of antisense polygalacturonase genes in

- transgenic tomatoes. *Plant Mol. Biol.* 14 : 369–379.
- 鈴木栄次郎・野中民雄. 1973. 生育のステージと生理、生態 V 果実の発育とネット発現. p.75–88. 農業技術大系 野菜編 4 メロン類 スイカ. 農文協. 東京.
- 鈴木雅人. 1990. 抑制ミニトマトの品種と栽培技術. *農耕と園芸*. 45(6) : 96–99.
- 平 智・鈴木陽子・風間恵美子・渡部俊三・佐藤康一・佐竹正行. 1988. ブドウ‘オリンピア’果実の着色促進におけるアブシジン酸 (ABA) 処理の時期と濃度. *農および園*. 63 : 883–884.
- 高橋信孝・広瀬和栄・佐藤幹夫・斉藤 隆・上本俊平. 1973. 新版植物調整物質の園芸的利用. p.149–162. 誠文堂新光社. 東京.
- 寺林 敏・藤原一哉・山下智史・並木隆和. 1985. 水耕トマトの果皮、果肉の強度. *京都府大学術報告農学*. 37 : 183–188.
- Tromp, J. 1984. Diurnal fruit shrinkage in apples as affected by leaf water potential and vapor pressure deficit of the air. *Scientia Hort.* 22 : 81–87.
- 角田昌一・林 正治. 1988. 水耕液への食塩の添加がトマトの生育に与える影響. *千葉県農大研究紀要*. 4 : 9–16.
- Tvergyak, P. J. and D. C. Richardson. 1979. Diurnal changes of leaf and fruit water potentials of sweet cherries during the harvest period. *HortScience*. 14 : 520–521.
- 牛島忠広. 1981. 第4章 植物の水分収支の測定法. p.127–173. 北沢右三・吉良竜夫・宝月欣二・森下正明・門司正三・山本護太郎編. 生態学研究法講座 7 植物の生産過程測定法. 共立出版. 東京.
- Voisey, P. W. and L. H. Lyall. 1961. Methods of determining the strength of tomato skins in relation to fruit cracking. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 86 : 597–609.
- Voisey, P. W., L. H. Lyall and M. Kloek. 1970. Tomato skin strength-Its measurement and relation to cracking. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95 : 485–488.
- Wade, N. L. 1988. Effect of metabolic inhibitors on cracking of sweet cherry fruit. *Scientia Hort.* 34 : 239–248.
- 渡辺 実・松野 篤・千野浩二・高山 覚. 1987. ミニトマトの栽培とその品種特性. *農および園*. 62 : 423–428.
- 渡邊幸雄・米山昌美・嶋田典司. 1987. ホウレンソウの糖、ビタミンCおよびシュ

- ウ酸含量に及ぼす水ストレス処理の影響. 土肥誌. 58 : 427-432.
- 宇井 睦・高野泰吉. 1995. 果実肥大期におけるガク片除去と果房送風、袋かけが水耕トマトの尻ぐされ発生に及ぼす影響. 生物環境調節 33 : 15-21.
- 山田久也・梶岡律子. 1991. 生体計測によるNFTミニトマト定植法の評価. 生物環境調節 29 : 153-157.
- 山田久也・村瀬治比古. 1994. ポンプ運転制御によるNFTミニトマト裂果低減法. 生物環境調節 32 : 1-7.
- 山本隆義・渡部俊三. 1980. Heat pulse法によるセイヨウナシの枝、果柄並びに葉柄内の水移動速度の測定. 園学雑. 49 : 311-325.
- 山本隆義・渡部俊三. 1983. ‘バートレット’果実のHand end発生初期における水ポテンシャルおよび果実への水移動率. 園学雑. 51 : 395-404.
- 山本隆儀・工藤 信・渡部俊三. 1990a. オウトウ‘佐藤錦’の裂果と果実肥大特性. 園学雑. 59 : 325-332.
- 山本隆儀・細井喜久子・渡部俊三. 1990b. 果実表面応力分布解析システムによるオウトウ果実の解析結果と裂果発生との関係. 園学雑. 59 : 509-517.
- Yamamoto, T., H. Satoh and S. Watanabe. 1992. The effects of calcium and naphthalene acetic acid sprays on cracking index and natural rain cracking in sweet cherry fruits. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 61 : 507-511.
- Yamamura, H., R. Naito and H. Tamura. 1986. Effects of light intensity and humidity around cluster on the formation of surface wax and the resistance to berry splitting in ‘Delaware’ grapes. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 55 : 138-144.
- 山村真弓. 1989. ミニトマトの房どり試行. 施設園芸 31(9) : 46-49.
- 山村真弓・大沼 康・蘇武 真. 1990. ミニトマトの房どり栽培における被袋の効果. 東北農研. 43 : 227-228.
- 矢ノ口幸夫・藤野雅丈・石井孝典・内海敏子. 1994. 省力形質保有ミニトマト品種の育成. 野菜・茶業試験場盛岡支場研究年報 8 : 22-26.
- 吉野蕃人・青木宣明・沢田 謙・山根研一. 1985. 本庄農場の気象年報. 島大農場研報. 7 : 1-22.